



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY KUCHYŇSKÉHO DŘEZU

DESIGN OF KITCHEN SINK PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Ondřej Dvořák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby kuchyňského dřezu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby kuchyňského dřezu pomocí technologie plošného tváření. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součástí a závěry se zhodnocením navrhované technologie. V tomto směru se rovněž počítá s ověřením návrhu užitím numerické simulace.

Cíle bakalářské práce:

- vypracování aktuální literární rešerše,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh výroby součástí,
- provedení technologických a kontrolních výpočtů.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William a Robert CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

LOGAN, Daryl. A first course in the finite element method. United States: Cengage Learning, 2007, 808 s. ISBN 978-0-534-55298-6.

MARCINIAK, Zdislaw, John. DUNCAN a Jack HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

DVOŘÁK Ondřej: Návrh výroby kuchyňského dřezu.

Práce se zabývá návrhem technologie výroby kruhového kuchyňského dřezu s úzkým lemem po obvodu. Polotovarem je plech korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 o tloušťce 0,8 mm. Velikost výrobní série je stanovena na 200 000 kusů ročně. Na základě literární rešerše byla pro výrobu zvolena technologie hlubokého tažení bez ztenčení stěny. Dřez byl poté zkoumán z hlediska technologičnosti a způsobu výroby, což obsahovalo stanovení počtu tahů, výpočet sil a práce při tváření a další výpočty nutné k návrhu tažného nástroje. Z výsledků je patrné, že ke zhotovení výsledného tvaru je třeba dvou tažných operací s použitím přidržovače a výroba bude realizována na hydraulickém lisu HARSLE Y27-200T se jmenovitou tažnou silou 2000 kN. Pro výrobu dílce byl navržen tažný nástroj pro první i druhý tah, ke kterým byla vypracována příslušná výkresová dokumentace. Tažnice, tažník i přidržovač jsou vyrobeny z nástrojové tepelně zpracované oceli 19 436.9 a upnuté jsou ve svařovaných tělesech z běžné konstrukční oceli 11 373. Pomocí simulace tažení byla následně ověřena správnost technologických výpočtů a vhodnost zvoleného způsobu výroby.

Klíčová slova: Ocel X5CrNi18-10, kuchyňský dřez, tváření, numerická simulace, hluboké tažení

ABSTRACT

DVOŘÁK Ondřej: Design of Kitchen Sink Production.

The work deals with the design of technology to produce a circular kitchen sink with a narrow flange around the perimeter. The semi-finished product is a 0.8 mm thick stainless-steel sheet X5CrNi18-10. The size of the production series is set at 200,000 pieces per year. Based on a literature search, the technology of deep drawing without thinning the wall was chosen for the production. Then was the sink examined in terms of technology and method of production, which included determining the number of draws, calculating forces and work during forming and other calculations necessary to design a drawing tool. The result shows that to produce the final shape is required two drawing operations with a blank holder and production will be carried out on a hydraulic press HARSLE Y27-200T with a nominal drawing force of 2000 kN. For the first and second operation a drawing tool was designed, for which was prepared the relevant technical documentation. The punch, the die and the blank holder are made of tool heat-treated steel 19 436.9 and they are fixed in welded bodies of common structural steel 11 373. Using the simulation of a drawing was subsequently verified the accuracy of technological calculations and the suitability of the selected method of production.

Keywords: X5CrNi18-10 steel, kitchen sink, forming, numerical simulation, deep drawing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, Ondřej. *Návrh výroby kuchyňského dřezu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132130>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 20. 5. 2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Děkuji také rodině za podporu během studia.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Varianty výroby zvolené součásti.....	11
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	15
2.1 Návrh přístříhu	15
2.2 Stanovení počtu tažných operací	17
2.3 Použití přidržovače	18
2.4 Tažná vůle a mezera	19
2.5 Síla a práce	20
2.6 Tažné nástroje	21
2.6.1 Tažnice.....	22
2.6.2 Tažníky	23
2.6.3 Přidržovač a brzdňá žebra.....	24
2.7 Tažné lisy	26
2.8 Maziva v procesu tažení	27
2.9 Technologické zásady	27
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	30
3.1 Technologičnost zadané součásti	30
3.2 Velikost přístříhu	31
3.3 Stanovení počtu tažných operací	32
3.4 Varianty rozmístění výstřížků	33
3.5 Technologické výpočty	36
3.6 Návrh tažného nástroje	39
3.7 Simulace tažení	41
4 ZÁVĚRY	42

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratk
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Jednou z nepostradatelných součástí kuchyní jsou bezesporu kuchyňské dřezy. V dnešní době se vyrábí z různých materiálů, nejčastěji však z ocelového smaltovaného nebo korozivzdorného plechu. Konstrukční řešení dřezů bývá různé. Odlišuje se tvarem i velikostí, a to zejména v závislosti na způsobu použití.

Způsobů výroby těchto součástí je rovněž mnoho. Vhodná technologie výroby je volena nejčastěji na základě počtu vyráběných kusů, ale i na základě požadavku zákazníka či návrhu designéra. Mezi nejčastěji využívané metody výroby se řadí technologie tváření.

Základním principem tváření je obecně uvedení materiálu do plastického stavu vlivem vnějších zatížení. V plastickém stavu materiál mění následně svůj tvar a vlastnosti potřebné k přetvoření do výsledného požadovaného tvaru výrobku. Technologie tváření se dělí na plošné a objemové. V případě plošného tváření je plech přetvářen do prostorového tvaru při často zanedbatelné změně tloušťky.

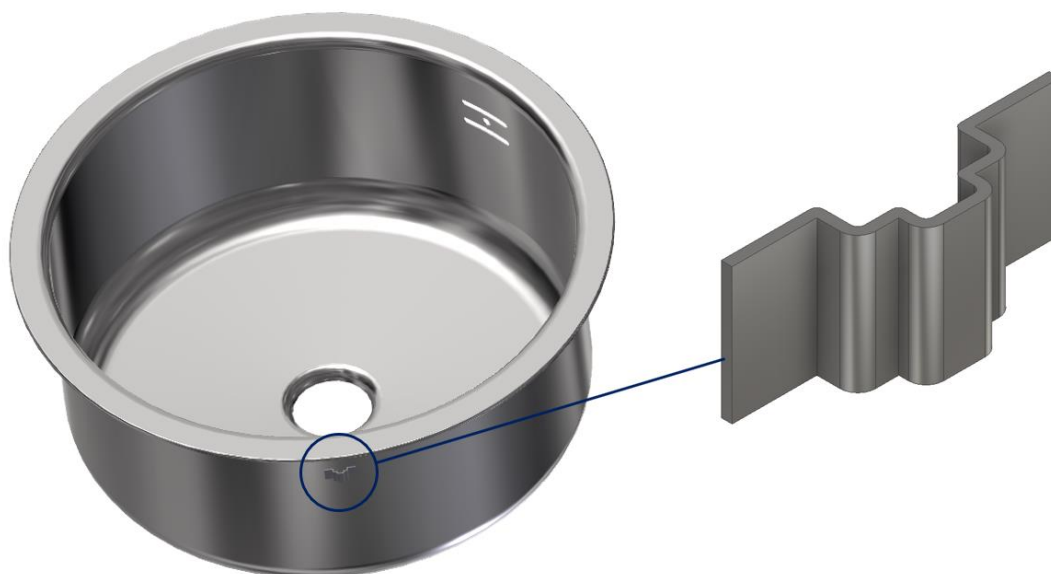
Jednou z metod plošného tváření je i tzv. hluboké tažení. Pomocí této technologie lze z rovinného přístříhu plechu vytvořit výtažky jednoduchého rotačního tvaru, ale i dílce hranaté či nesymetrických tvarů, viz příklady na obrázku 1.



Obr. 1 Příklady výtažků různých tvarů [2], [5]

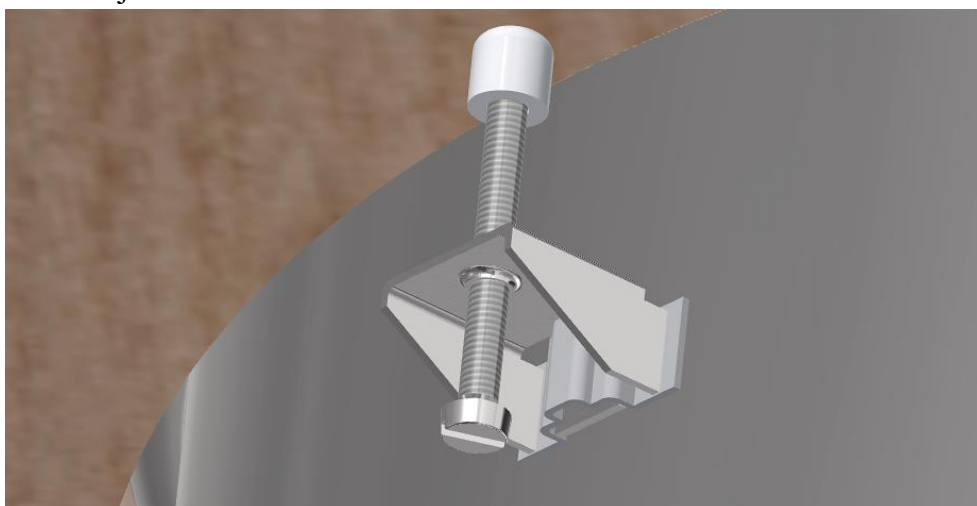
1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [6], [7], [8], [9], [10]

Vyráběný kuchyňský dřez, jež je vyobrazen na obrázku 2, je určen ke každodennímu používání a lze ho snadno namontovat do kuchyňské desky. Zadaná výrobní série je 200 000 ks ročně. Vzhledem k tomu, že se dřezy nejčastěji vyrábí z plechu tloušťky 0,7 mm nebo 0,8 mm, je tloušťka vyráběného dřezu, ze kterého bude součást zhotovena zvolena $t = 0,8$ mm. Hlavními rozměry jsou vnější průměr $D = 460$ mm a výška dřezu $H = 197,7$ mm. Pro běžné kuchyňské práce jsou tyto rozměry dostačující. Dřez je kulatého tvaru s osazením po obvodu dřezu, sloužící k umístění těsnění, aby voda neprotékala kolem hrany dřezu. Otvory, které jsou na boční straně, slouží jako přepad vody v případě nadbytečného naplnění dřezu vodou. Prolis ve dně je určen pro zápachovou uzávěrku, která slouží k odtoku vody. Ve dřezu není umístěn otvor pro stojánkovou baterii, která tak bude buď nástěnná, nebo stojánková, avšak umístěná přímo v kuchyňské pracovní desce.



Obr. 2 Vyráběný kuchyňský dřez s detailem držáku

Na tento typ dřezu se přivaří ocelové držáky, pomocí kterých se upevní na kuchyňskou desku. Zobrazeny jsou v detailu na obrázku 2. Do přivařených držáků se vsune úchytka a pomocí šroubu se dřez pevně uchytí ke kuchyňské desce. Druh uchycení dřezu byl zvolen především na základě jednoduchosti výroby i montáže úchytek a držáků. Způsob montáže kuchyňského dřezu je znázorněn na obrázku 3.



Obr. 3 Způsob upevnění dřezu

Materiál využitý pro výrobu dřezu je korozivzdorná ocel X5CrNi18-10, známá též pod označením dle ČSN 17 240 nebo AISI 304. Chemické složení materiálu se nachází v tabulce 1. Tato austenitická chrom-niklová ocel patří mezi nejpoužívanější korozivzdorné ocele. Setkat se lze i s názvem potravinářská nerez, jelikož uplatnění tohoto materiálu je možno nalézt v potravinářském, farmaceutickém průmyslu a v dalších odvětvích vyžadující vysokou čistotu produktu. Používá se především ke tváření za studena a svařování. Tvářitelnost této oceli je velmi dobrá, avšak obrobitelnost je špatná. Materiál je dobře leštitelný a pomocí leštění lze také zvýšit odolnost vůči korozi. Mechanické vlastnosti materiálu při pokojové teplotě jsou zobrazeny v tabulce 2.

Z důvodu širokého spektra způsobů zpracování materiálu a jednoduchého rotačního tvaru součásti je možno součást vyrobít mnoha metodami plošného tváření.

Tab. 1 Chemické složení oceli X5CrNi18-10 [7]

Chemické složení [hm. %]						
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,07	max 2,0	max 1,0	17,0–20,0	9,0–11,5	max 0,045	max 0,03

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli X5CrNi18-10 [7], [9]

Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A_5 [%]	Tvrdost podle Brinella [MPa]	Vrubová houževnatost [J·cm ⁻²]	Modul pružnosti E [GPa]
186	490	37	150	137	199

1.1 Varianty výroby zvolené součásti [4], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Polotovar pro výrobu dílce je možné vyhotovit z plechu nebo svitku plechu, ze kterého se následně zhotoví polotovar požadovaného tvaru. Zmíněné druhy polotovarů lze vidět na obrázku 4. Kruhový polotovar je poté možno vyrobít například pomocí technologie řezání laserem, plazmou, vodním paprskem, konvenčním střiháním v nástrojích nebo kotoučovými nůžkami. Při volbě vhodné technologie se zohledňuje například výrobní série, rozměr a kvalita výrobku nebo výrobní časy.

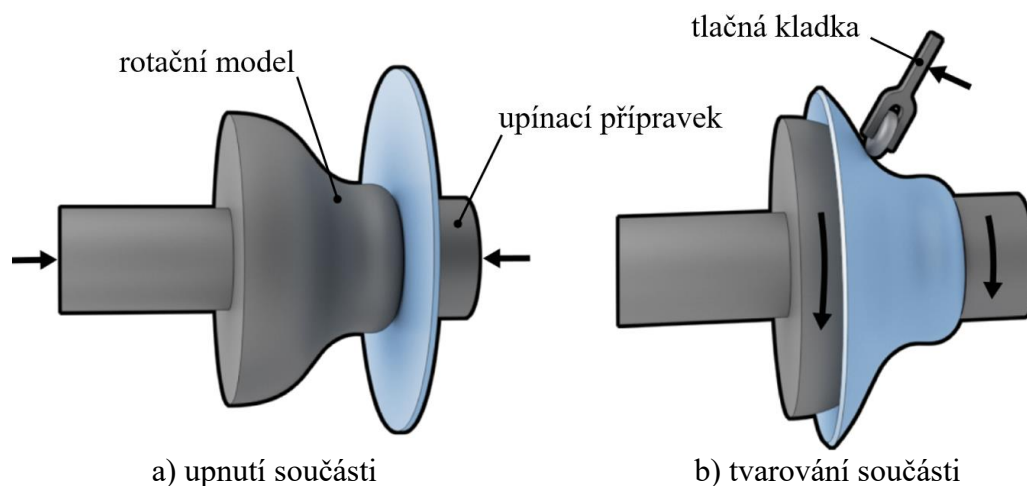


Obr. 4 Polotovar ve formě svitků a plechů [16]

Vzhledem k tvaru a počtu vyráběných kusů je pro výrobu zadaného dílce možné uvažovat o technologii kovotlačení, hydromechanické tažení, tváření elastomerem, tváření kapalinou, nebo technologii hlubokého tažení. Vhodný způsob výroby je volen na základě posouzení

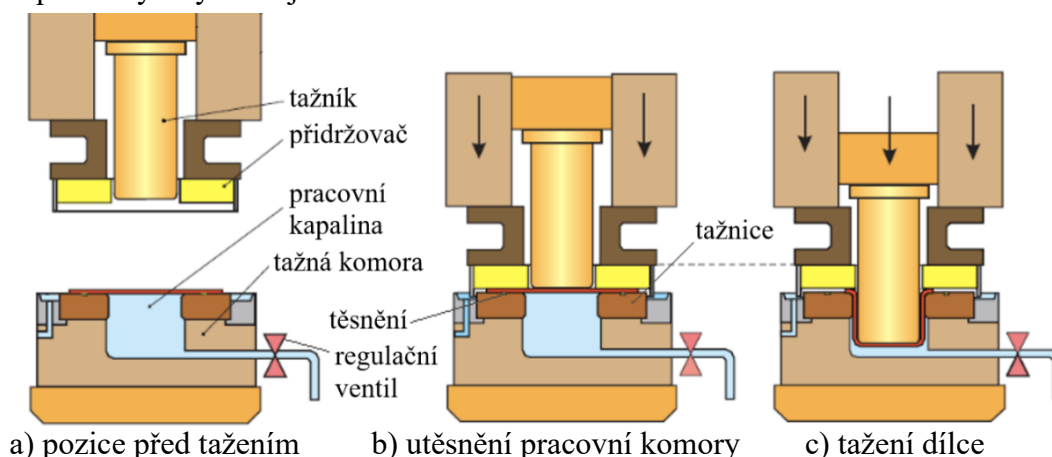
výhodných vlastností jednotlivých technologií. Pro výrobu zadaného dílce je možné použít následující technologie:

- **Metoda kovotlačení** – pomocí kovotlačení lze zhotovit duté součásti beze změny tloušťky stěny nebo se ztenčením. Přístřih plechu se za neustálé rotace přitlačuje speciálními nástroji, tj. kladkami zakončenými třecím nebo valivým segmentem, k rotačnímu modelu a získává tak výsledný tvar, viz obrázek 5. Součásti vyráběné tímto způsobem jsou převážně kuželovitěho tvaru, popřípadě součásti s nestejnou tloušťkou stěn, jelikož jsou konvenčním hlubokým tažením obtížně vyrobitelné a výroba takovýchto nástrojů by byla příliš nákladná. Výhodou je tedy nízká pořizovací cena strojů a nástrojů. Nevýhodou kovotlačení je především nízká produktivita a možnost vyrábět pouze rotační výlisky. Pro vyrábění dílce tedy není tato metoda příliš vhodná.



Obr. 5 Kovotlačení [12]

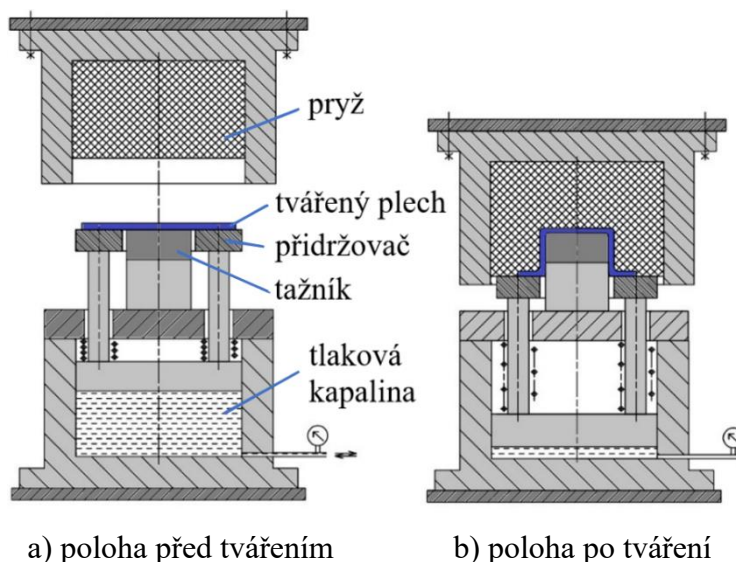
- **Hydromechanické tažení** – představuje nekonvenční technologii hlubokého tažení s pracovní kapalinou, která v tomto případě částečně plní funkci tažnice a umožňuje lépe tvářet plech. První část stroje tvoří tažná komora vyplněná kapalinou a v druhé části je přidržovač a tažník. Těsnění umístěné v blízkosti tažné hrany slouží k uzavření a utěsnění soustavy. Tažník plech následně tváří do tažné komory za stálého působení hydrostatického tlaku kapaliny. Prebytečná kapalina se upouští speciálním ventilem, který umožňuje regulaci tlaku. Způsob výroby dílce je znázorněn na obrázku 6.



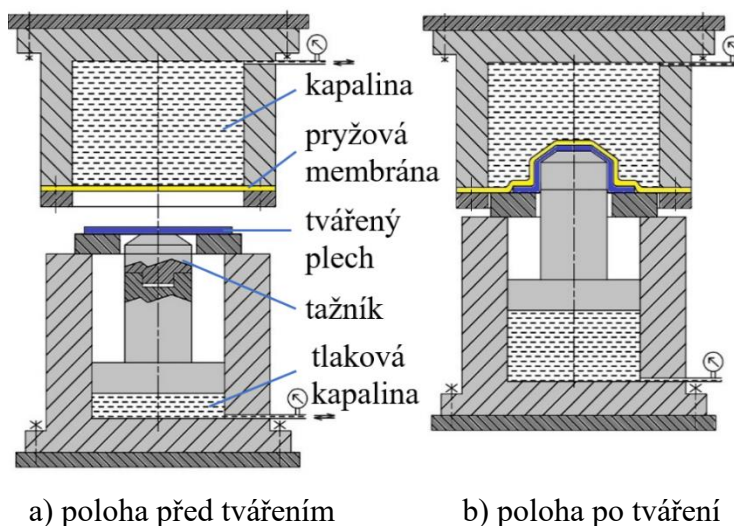
Obr. 6 Hydromechanické tažení [14]

Technologie je vhodná pro hlubší nádoby s přírubou. Výhodami jsou nízký počet tažných operací, pouze nepatrné tření a ztenčení, přesnost a kvalita povrchu. Z důvodu nutnosti speciálních strojů i jejich vysoké ceny není tato metoda pro zadaný dílec vhodná.

- Tváření pryží – technologie vhodná pro hluboké tažení využívající pryž jako tažnici je metoda zvaná Marform. Způsob tažení je zobrazen na obrázku 7. Hluboké tahy umožňuje hydraulický přidržovač. Využívá se pro tvarově složité součásti nerotačních, kuželových nebo například parabolických tvarů. Tažník se společně s plechem zatlačí do pryže a vytvaruje plech do požadovaného tvaru. Výška pryže bývá minimálně třikrát větší než výška výlisku. Výhoda metody spočívá v nízké ceně nástrojů a pryž použitá jako tažnice nezanechává na povrchu dílce žádné stopy po tváření. Nevhodnost pro tažení tvarově členěného dna výtažku je nevýhodou metody. Vzhledem k velikosti zadané série není tato technologie příliš vhodná.
- Tváření kapalinou – metoda Hydroform je podobná technologii Marform, avšak využívá k tváření nádobu s kapalinou, která je přepažena poměrně tenkou pryžovou membránou, viz obrázek 8. Přidržovač zajistí, aby se nezvlnili okraje a tažník poté zatlačí tvářený plech do ocelové skříně s kapalinou. Plech je následně tvářen společně s pryžovou membránou hydrostatickým tlakem kapaliny. Regulační ventil umožňuje regulovat tlak a odpouštět nadbytečnou kapalinu. Výhodou metody je možnost vyrábět hluboké dílce s různým tvarem dna, snížení počtu tažných operací, rovnoměrné přetvoření lisovaného dílce a možnost výroby složitějších tvarů. Náklady na nástroje jsou opět poměrně nízké. Nevýhodou metody se jeví životnost membrány, která je závislá na tvaru výtažku, a především požadavek na speciální tažný lis a nástroje.

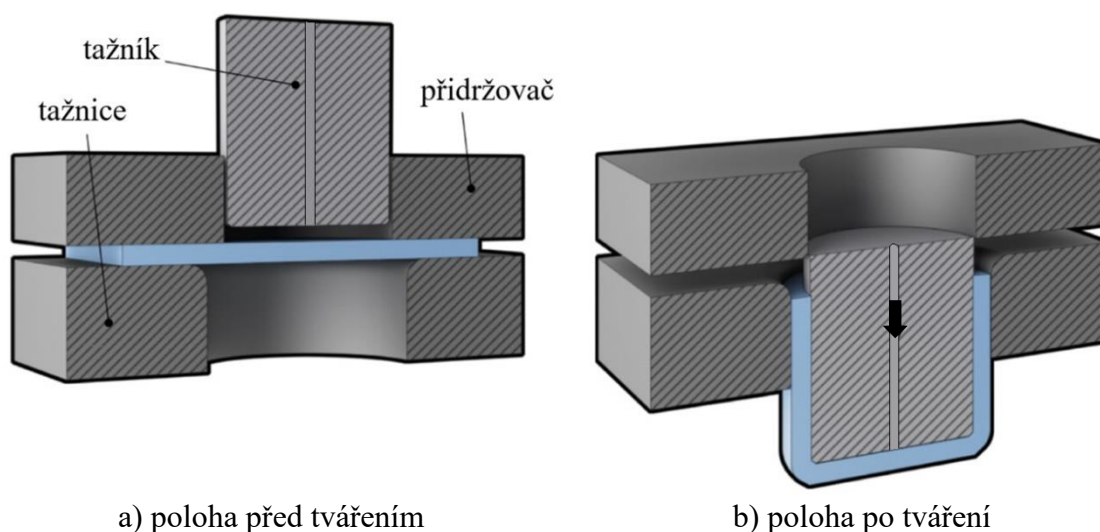


Obr. 8 Tažení metodou Marform [15]



Obr. 7 Tažení metodou Hydroform [15]

- Tažení konvenčním nástrojem – mnohdy nazývané jako hluboké tažení je způsob plošného tváření, při kterém se z rovinného plechu neboli přístřihu zhotovují prostorová tělesa. Tažník se zasouvá do tažnice a značná část materiálu se postupně vytlačuje přes tažnou hranu směrem k obvodu a současně se zvětšuje výška výtažku, která bývá různě zvlněná, proto následuje operace ostřížení. Způsob tažení je schematicky znázorněn na obrázku 9. Nejvíce namáhanou částí bývá tažná hrana. Výhodou je vysoká produktivita a jednoduchost stroje. Využití lze nalézt především u větších sérií. Nevýhodou bývá nutnost více tažných operací v porovnání s nekonvenčními metodami tažení. Z důvodu veliké série vyráběné součásti se jeví tato metoda jako nejvhodnější.



Obr. 9 Způsob tažení [12]

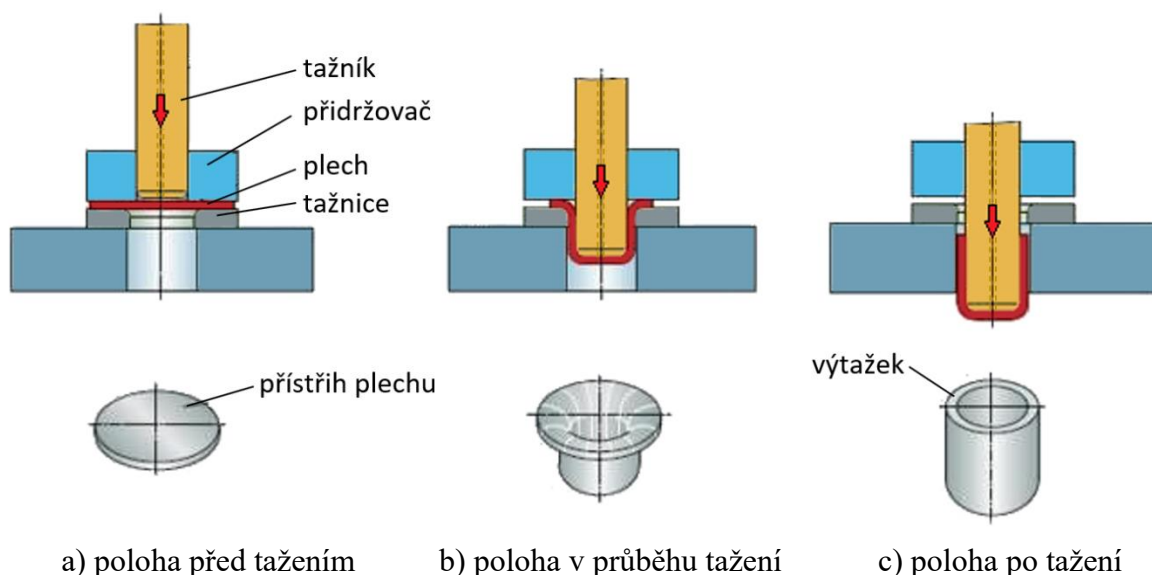
Po posouzení různých vlastností jednotlivých technologií, požadované výrobní série, přesnosti a kvality povrchu polotovaru se jako nejvhodnější způsob výroby součásti jeví konvenční tažení, a proto bude technologie tažení dále hlouběji rozebírána.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [4], [11], [18], [19]

Tažení je technologie plošného tváření, při kterém je přístřih plechu přetvářen v prostorová tělesa mělkých i hlubších tvarů, viz obrázek 10. Výrobek je označován jako výtažek a jeho složitost společně s technologickými parametry jednotlivých metod výroby určuje, zda bude vytvořen pomocí jedné nebo pomocí více tažných operací. Při tažení je také nezbytné zkoumat chování materiálu, zda nedochází ke vzniku různých vad, například trhlin, ztenčení nebo zvlnění.

Setkat se lze s tažením bez zeslabení stěny nebo i se zeslabením stěny, dále se dělí na tažení konvenčním způsobem a tažení nekonvenční. Nekonvenční způsob tažení zahrnuje tažení nepevnými nástroji, kovotlačení, nebo například tažení vysokými rychlostmi. Setkat se však lze i se zpětným tažením, žlábkováním, rozšiřováním a zužováním, lemováním, přetahováním, napínáním, popřípadě s dalšími speciálními variantami výroby.

Nástroje bývají nazývané jako tažidla, přesněji tažník a tažnice. Důležitou částí bývá také přidržovač, který slouží k zabránění zvlnění materiálu v průběhu tažení.



Obr. 10 Proces tažení [19]

Pro operaci tažení je nezbytné určit optimální technologické parametry, aby byl výtažek zhotoven s požadovanou jakostí. Přesněji se jedná o určení velikosti přístřihu, způsobu tažení, počtu tažných operací, velikosti tažné mezery a stanovení velikosti tažné síly a práce.

2.1 Návrh přístřihu [4], [20]

Před samotnou operací tažení je nutné navrhnout tvar a velikost výchozího polotovaru, který se stanoví pomocí diagramů nebo výpočtem. Pokud je přístřih kruhového tvaru, bývá označován jako tzv. rondel.

Při výpočtu se vychází ze zákona zachování objemu, neboli objem polotovaru se rovná objemu výtažku. V případě tažení bez ztenčení stěny lze určit velikost přístřihu i ze zákona rovnosti ploch, kdy se u tenkých plechů počítá s vnějšími rozměry výtažku a u tlustších plechů se středním rozměrem tloušťky plechu. Další možností stanovení průměru přístřihu u rotačních součástí je použití grafických metod, či počítačového softwaru.

Po výpočtu je nutné průměr přístřihu zvětšit z důvodu možného vzniku cípatosti. Při jednooperačním tažení bývá průměr zvětšen o 3 % a v případě každé další operace o 1 %.

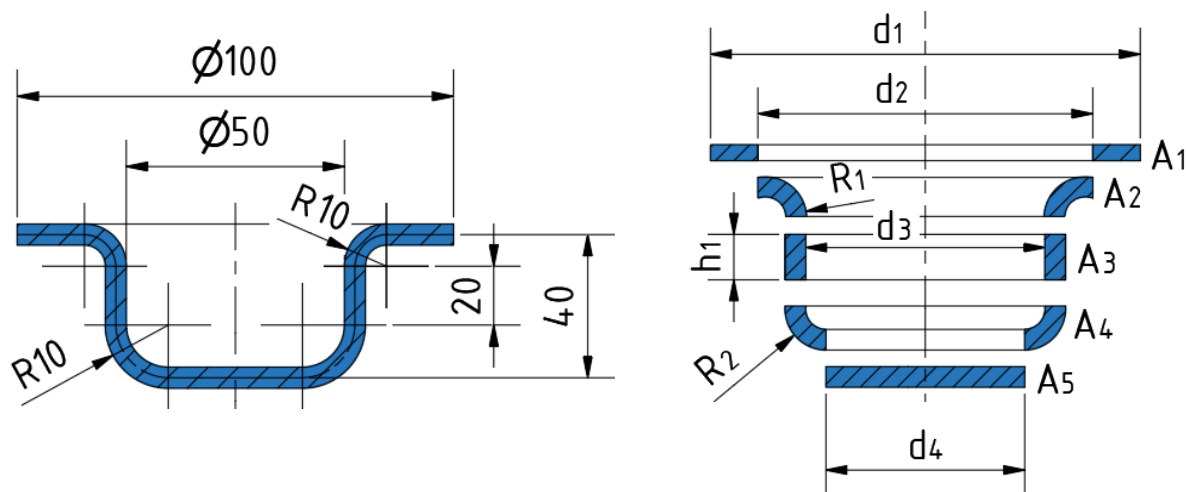
Pro stanovení průměru přístřihu D_0 pro válcový výtažek s přírubou lze použít následující vzorec:

$$D_0 = \sqrt{D_p^2 + 4 \cdot d \cdot h - 3,44 \cdot d \cdot r} \quad (2.1)$$

kde: d – vnitřní průměr výtažku [mm],
 D_p – průměr příruby [mm],
 h – výška výtažku [mm],
 r – poloměr zaoblení přechodu stěny do příruby a dna výtažku [mm].

Vzorec se používá především pro jednodušší součásti nebo pokud je požadován rychlý a snadný výpočet. Pro přesnější výpočet s větší přesností rozměru přístřihu je nutné počítat s rozdílným zaoblením mezi jednotlivými přechody tvaru součásti.

Pro přesnější výpočet lze využít již zmíněný zákon zachování ploch, kdy se výtažek rozdělí na elementární části a vychází se ze základních vzorců pro výpočet obsahu těchto ploch výtažku, viz obrázek 11.



a) požadovaný tvar přístřihu

b) základní plochy po rozkladu přístřihu

Obr. 11 Příklad rozdělení výtažku na základní prvky [20]

Další možností je určení hodnot z CAD softwaru, ve kterém lze plochu výtažku zjistit jednodušeji a přesněji. Z této plochy se dále vychází při stanovení výsledného průměru přístřihu. Celková velikost přístřihu D_0 je určena jako:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} \quad (2.2)$$

kde: S_c – celkový obsah plochy výtažku [mm²].

2.2 Stanovení počtu tažných operací [4], [6], [20], [21]

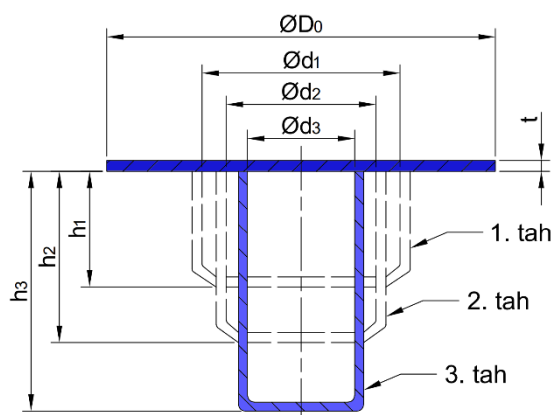
Tažení často neprobíhá pouze na jednu tažnou operaci, ale využívá se i více tažných operací. Ovlivňujícími parametry jsou tvar a velikost výtažku, tloušťka tvářeného plechu a jeho materiál. Důvod použití víceoperačního tažení je omezení minimálního průměru výtažku, který lze v jedné operaci zhotovit. Kvůli tomu je nutné, aby první tah byl více mělký o velkém průměru a v dalších operacích se postupně zmenšuje průměr a současně roste výška výtažku. Po vyčerpání plasticity, často se uvádí při třetím tahu, je nutné provést rekrytalizační žhání. Schematické znázornění způsobu tažení pomocí více tažných operací je uvedeno na obrázku 12.

Ke stanovení počtu tažných operací slouží tzv. součinitel tažení, na jehož velikosti má vliv již zmíněný druh materiálu plechu, jeho tloušťka a poměrná tloušťka, která se stanoví z poměru tloušťky t a průměru přístřihu D_0 , dále geometrie funkčních částí tažníku a tažnice nebo například podmínky a způsob tažení. Součin jednotlivých součinitelů tažení se nazývá celkový součinitel tažení a převrácená hodnota je označována jako tzv. stupeň tažení.

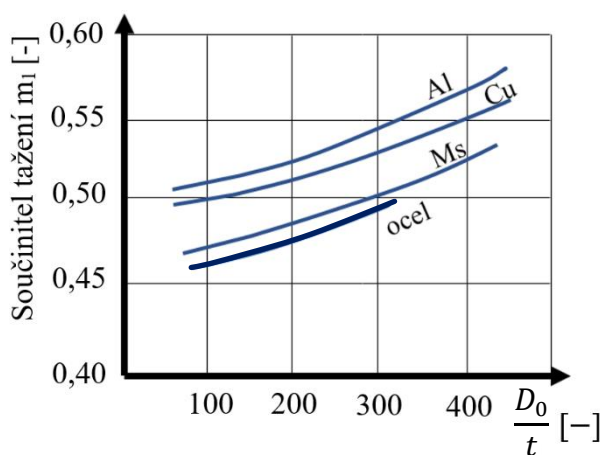
Jedním z metod určení součinitele tažení pro daný materiál je odečtení mezní hodnoty pro první tah z grafu vyobrazeného na obrázku 13. Tento způsob slouží převážně jako rychlé ověření, zda je možné vyrobít součást pomocí jednoho tahu nebo je nutné použít více operací. Dalším už přesnějším způsobem je stanovení mezních hodnot součinitelů tažení z tabulky 3, která již obsahuje rozdílné velikosti součinitele pro první a další tahy. Uvedené koeficienty se liší kromě druhu operace také relativní tloušťkou materiálu t_r , jež je dána vztahem:

$$t_r = \frac{t}{D_0} \cdot 100 \quad (2.3)$$

kde: t – tloušťka plechu [mm].



Obr. 12 Víceoperační tažení [4]



Obr. 13 Graf mezních hodnot součinitele tažení [6]

Tab. 3 Hodnoty součinitele tažení pro válcovité součásti [21]

Součinitel tažení [-]	Relativní tloušťka materiálu t_r [%]					
	2,0–1,5	1,5–1,0	1,0–0,6	0,6–0,3	0,3–0,15	0,15–0,08
m_1	0,48–0,50	0,50–0,53	0,53–0,55	0,55–0,58	0,58–0,60	0,60–0,63
m_2	0,73–0,75	0,75–0,76	0,76–0,78	0,78–0,79	0,79–0,80	0,80–0,82
m_3	0,76–0,78	0,78–0,79	0,79–0,80	0,81–0,82	0,81–0,82	0,80–0,84
m_4	0,78–0,80	0,80–0,81	0,81–0,82	0,80–0,83	0,83–0,85	0,85–0,86
m_5	0,80–0,82	0,82–0,84	0,84–0,85	0,85–0,86	0,86–0,87	0,87–0,88

Pro vnitřní průměr výtažku d_1 při první tažné operaci platí:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 \quad (2.4)$$

kde: m_1 – součinitel tažení pro první tažnou operaci [-].

Pokud je vypočtený průměr větší než požadovaný vnitřní průměr výsledného výtažku, tažení dílce proběhne pomocí více tažných operací.

Pro další operace tažení platí následující rovnice určující vnitřní průměr výtažku d_n pro n -tou operaci:

$$d_n = m_n \cdot d_{n-1} = (m')^{n-1} \cdot (m_1 \cdot D_0) \quad (2.5)$$

kde: m_n – součinitel tažení pro n -tou tažnou operaci [-],

d_{n-1} – vnitřní průměr výtažku pro předchozí tažnou operaci [mm],

m' – střední součinitel tažení (pro 2. a další tažné operace $m'=0,75$) [-].

Úpravou po zlogaritmování vzorce (2.3) se vypočte potřebný počet tažných operací n jako:

$$n = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(m')} \quad (2.6)$$

Celkový součinitel tažení m_c je dán vztahem:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n \quad (2.7)$$

kde: m_2 – součinitel tažení pro druhou tažnou operaci [-],

m_3 – součinitel tažení pro třetí tažnou operaci [-].

2.3 Použití přidržovače [4], [6], [15], [22], [23]

Přidržovač zabráňuje zvlnění, které vzniká při vtahování materiálu z příruby do válcové části, avšak ne vždy je nezbytně nutný. V oblasti příruby může docházet k pěchování materiálu pod přidržovačem a tím i k nárůstu tloušťky stěny. Příklady vad výtažku při použití špatného tlaku přidržovače se nachází na obrázku 14.

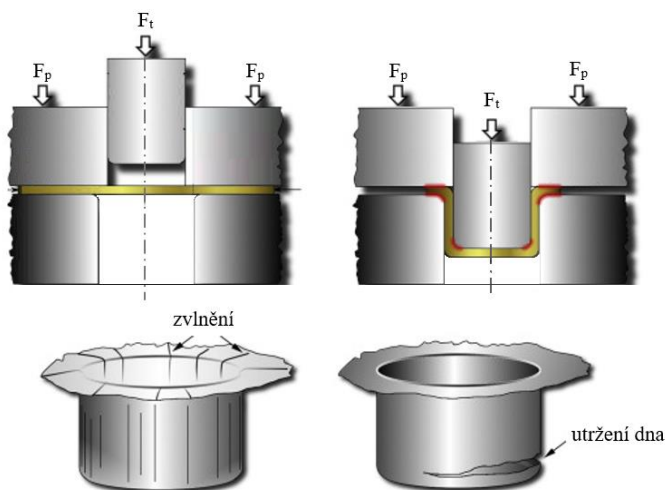
Při posuzování způsobu tažení záleží především na tloušťce plechu a stupni deformace, přičemž hlubokotažné plechy tloušťky do 0,5 mm se táhnou vždy za použití přidržovače. Pro stanovení, zda je přidržovač nutný se využívá empirických vztahů, či grafů.

Norma ČSN 22 7301, uvádí následující vztah pro koeficient α , jenž se využívá ke stanovení způsobu tažení:

$$\alpha = 50 \cdot \left(k_p - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad (2.8)$$

kde: k_p – materiálová konstanta [-].

Materiálová konstanta uvedená ve vzorci se vztahuje k druhu tvářeného materiálu, její hodnoty se nachází v tabulce 4.



Obr. 14 Vady výtažků [23]

Tab. 4 Materiálová konstanta k_p [6]

Materiál	Materiálová konstanta k_p [-]
ocel	1,90
mosaz	1,95
hliník	2,00

Plech je nutno táhnout s přidržovačem, pokud koeficient α splňuje podmínku:

$$\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0} \quad (2.9)$$

kde: d – vnitřní průměr výtažku.

Způsobů ověření, jestli je při tažení potřeba přidržovač, existuje více. Například Šofman udává podmínku určenou jednoduchou nerovnicí. Pokud je uvedená podmínka splněna, doporučuje se tažení bez přidržovače:

$$D_0 - d \leq 18 \cdot t \quad (2.10)$$

Podle Freidlinga se způsob tažení stanoví pomocí relativní tloušťky, určené pomocí již dříve zmíněného vzorce (2.3). Pokud je tato relativní tloušťka menší než 1,5 % je přidržovač nezbytný, avšak pokud je tato výsledná hodnota větší než 2 % lze tažení provést i bez přidržovače. V případě, kdy se výsledek nachází mezi těmito hodnotami musí se způsob tažení ověřit jiným způsobem.

2.4 Tažná vůle a mezera [4], [6], [20], [24]

Při návrhu tažného nástroje se stanovuje tzv. tažná vůle a tažná mezera. Platí, že tažná vůle představuje rozměrový rozdíl mezi tažníkem a tažnicí. Kdežto tažná mezera je definována jako polovina tažné vůle. Závislost mezi tažnou mezerou a vůlí je schematicky znázorněna na obrázku 15. Správná volba tažné mezery přímo ovlivňuje jakost výroby výtažku, popřípadě i zmetkovitost. Pokud je tažná mezera příliš malá může dojít k utržení dna vlivem nárůstu tažné síly. Naopak v případě velké mezery mohou vznikat sekundární vlny ve stěně výtažku.

V případě tažení se ztenčením stěny nebo kalibrace se velikost tažné mezery volí přímo dle požadované tloušťky stěny výtažku, avšak při tažení bez zeslabení stěny musí být tažná mezera větší, než je tloušťka plechu, přičemž se zohledňuje i možná tolerance tloušťky polotovaru.

Volba velikosti tažné mezery probíhá na základě výpočtu pomocí empirických vzorců. Norma ČSN 22 7301 udává hodnotu tažné mezery pro první operaci:

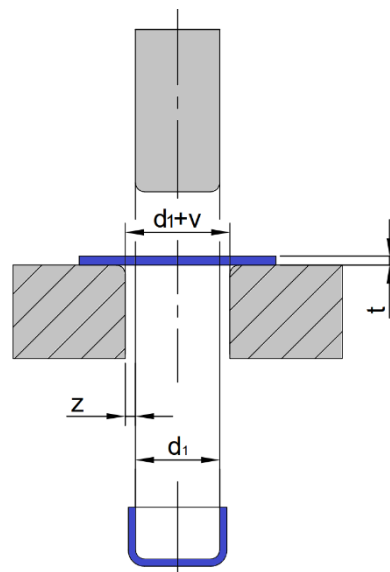
$$z = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot t \quad (2.11)$$

Pro další operace bývá tažná mezera zpravidla menší, jelikož tloušťka stěny není v průběhu tažení zcela konstantní. Hodnota mezery pro další operace tažení se tedy udává jako:

$$z = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot t \quad (2.12)$$

V případě posledního tahu, respektive kalibrace, je tažná mezera vyjádřena pomocí vztahu:

$$z = (1 \text{ až } 1,1) \cdot t \quad (2.13)$$



Obr. 15 Tažná mezera [24]

Setkat se lze i s výpočtem podle Oehlera, který do výpočtu zahrnuje také vliv taženého materiálu:

$$z = t_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot t} \quad (2.14)$$

kde: k – součinitel zohledňující vliv materiálu [-],
 t_{\max} – maximální tloušťka plechu dle tolerance [mm].

Hodnota součinitele $k = 0,07$ pro ocel, $k = 0,02$ pro hliník a pro ostatní neželezné kovy $k = 0,04$.

Další možností je určení tažné vůle podle již stanovených a praxí ověřených hodnot. K tomu se využívá například tabulka 5.

Tab. 5 Velikosti tažné mezery [20]

Tloušťka plechu t [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Tažná mezera z [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

2.5 Síla a práce [4], [6], [18], [24]

Tažná síla není v průběhu tažení konstantní, jelikož se mění výsledné tahové napětí. Nejdříve prudce vzrůstá až do bodu, který při tažení válcové součásti odpovídá součtu poloměru tažnice, poloměru tažníku a tloušťce stěny plechu. V druhé fázi nastane zlom a síla dále klesá. Průběh tažné síly je vyobrazen na obrázku 16, který zobrazuje pouze teoretický průběh a v praxi se skutečný průběh síly může lišit.

Pro zjednodušení a urychlení výpočtu se používá empirický vzorec pro výpočet síly potřebné k utržení dna výtažku, která bývá označována jako tzv. kritická síla. Při stanovení tažné síly se vychází z předpokladu, že tažná síla musí být menší než síla potřebná k utržení dna.

Pro výpočet kritické síly F_{krit} , se v praxi využívá následující vzorec:

$$F_{\text{krit}} = \pi \cdot d_n \cdot t \cdot R_m \quad (2.15)$$

kde: d_n – vnitřní průměr výtažku pro n -tou tažnou operaci [mm],

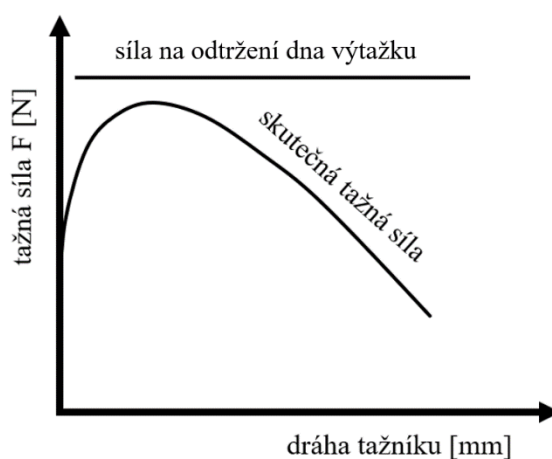
R_m – mez pevnosti materiálu [MPa].

Norma ČSN 22 7301 udává pro výpočet tažné síly vztah, který obsahuje součinitel C , zohledňující i další vlivy ovlivňující tažení. Dále udává, že při tažení se materiál zpevňuje, proto se vypočtená hodnota musí při dalších tazích navýšit o 10–15 %, pokud nebyl výtažek mezioperačně vyžihán.

$$F_{\text{tn}} = C \cdot \pi \cdot d_n \cdot t \cdot R_m \quad (2.16)$$

kde: C – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení m a vliv proměnné tloušťky t/D_0 [-].

Vybrané hodnoty součinitele C se nachází v tabulce 6.



Obr. 16 Průběh tažné síly [4]

Tab. 6 Vybrané hodnoty součinitele C [24]

Součinitel tažení m [-]	0,55	0,575	0,60	0,625	0,65	0,70	0,80
Koeficient C [-]	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,60	0,40

Pro správnou volbu stroje je nutné určit také celkovou tažnou sílu, která se skládá z tažné síly a síly přidržovače. Při výpočtu se vychází z účinné plochy přidržovače a tlaku přidržovače. Tlak přidržovače pro hlubokotažný plech se udává 2 až 3 MPa, pro nerezový plech 2 až 5 MPa, pro měděný plech 1,2 až 1,8 MPa a pro hliníkový 0,8 až 1,2 MPa. V praxi se skutečný tlak nastaví tak, aby se eliminovalo zvlnění a nedocházelo ani k utržení dna výlisku.

Síla přidržovače F_p se vypočte pomocí následujícího vzorce:

$$F_p = S_p \cdot p_p \quad (2.17)$$

kde: S_p – účinná plocha přidržovače [mm^2],

p_p – tlak přidržovače [MPa].

Celková síla potřebná pro tažení F_c je dána vztahem:

$$F_c = F_t + F_p \quad (2.18)$$

kde: F_t – výsledná tažná síla [N].

Výsledná jmenovitá síla lisu musí být zvolena vyšší než vypočtená celková síla potřebná pro tažení, aby obsahovala určitou rezervu a nedocházelo tak k případným problémům při tažení.

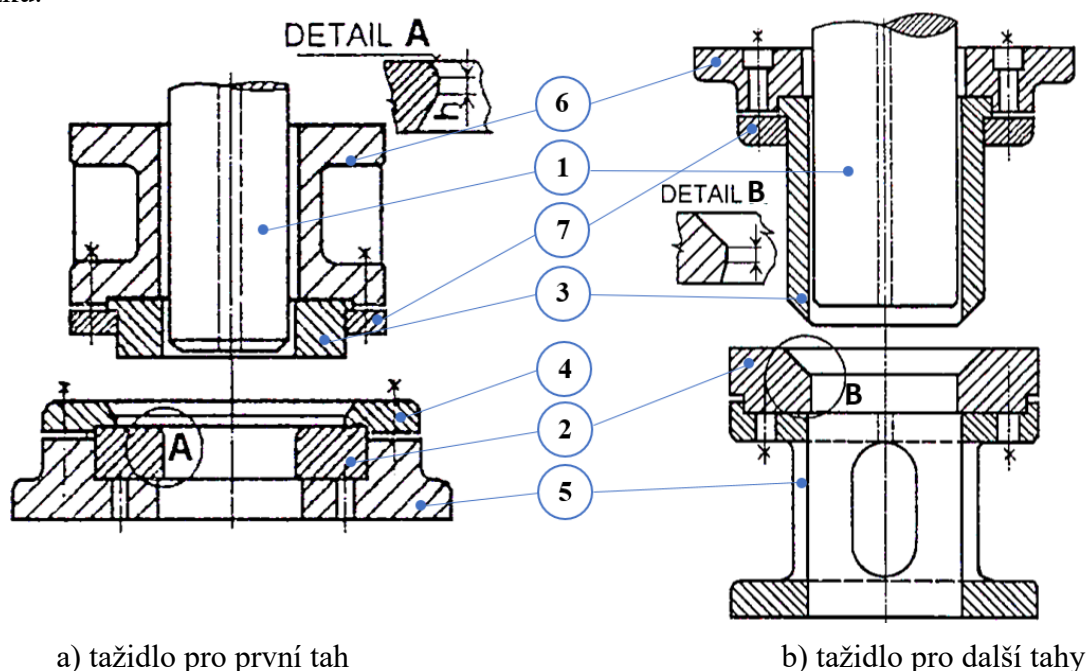
Pro správnou volbu stroje je také důležité stanovit tažnou práci A , která je dána vzorcem:

$$A = \frac{C_A \cdot F_c \cdot h}{1000} \quad (2.19)$$

kde: C_A – součinitel tažné práce (pro tažení bez kalibrování dna $C_A = 0,66$ a pro tažení s kalibrováním $C_A = 0,8$) [-].

2.6 Tažné nástroje [6], [11], [18]

K dosažení požadované jakosti a ekonomičnosti výroby je volba nástrojů velmi důležitým krokem. Nesprávná volba může nejen ovlivnit zmetkovitost, ale i přímo znemožnit výrobu výtažku.



Obr. 17 Konstrukce tažidel s přidržovačem [6]

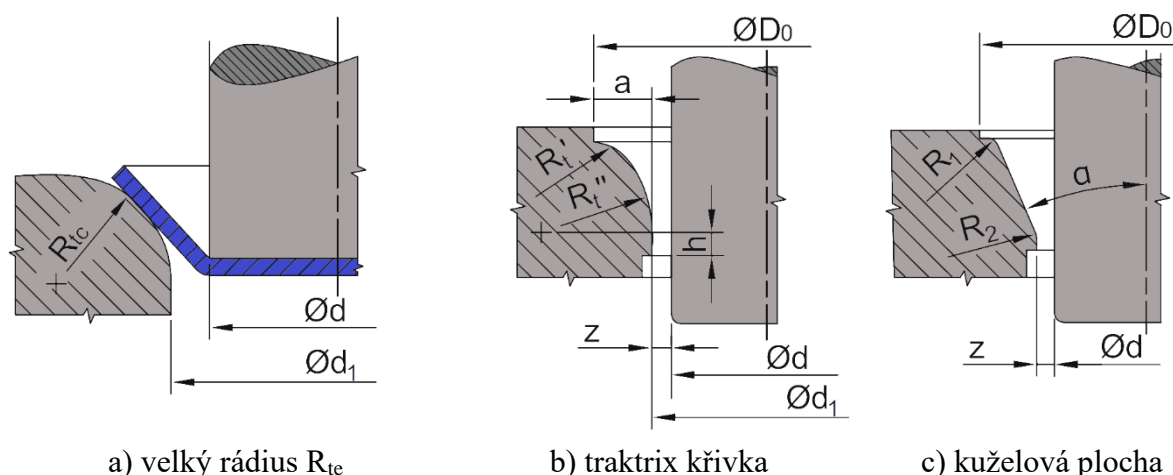
Hlavními částmi nástroje jsou tažník, tažnice a přidržovač. Konstrukce nástrojů pro první tah a pro další tahy bývá odlišná, schematické znázornění tažidla pro první tah a další tahy se nachází na obrázku 17. Jedná se o základní koncept, při kterém tažník spolu s přidržovačem sjíždí seshora a zasouvá se do nehybné tažnice. Další v praxi často využívané je opačné uspořádání. V tomto případě tažnice sjíždí seshora a tažník je nehybný v dolní části. V obou případech se tažidlo skládá z tažníku (pozice 1), tažnice (pozice 2) a přidržovače (pozice 3). Tažidlo pro první operaci obsahuje navíc zakládací kroužek (pozice 4), do kterého se před samotným tažením umístí přístřih plechu. Základové desky (pozice 5), stejně jako upínací desky (pozice 6), mohou mít různý tvar a jejich velikosti se odvíjí od hloubky výtažku v dané operaci. Přidržovač bývá v obou případech upevněn pomocí upínacího kroužku (pozice 7). V praxi se používají i tzv. stěrače, které slouží k odstranění výtažku z tažníku. Obecně se lze setkat s nástroji jednoduchými, sdruženými, postupovými, popřípadě speciálními. Materiály jednotlivých částí tažidla jsou popsány v tabulce 7.

Tab. 7 Materiály vhodné pro součásti tažidel [6]

Název součásti	Materiál dle ČSN	Hodnota HRC [MPa]
Tažník, tažnice	19 191, 19 436, 12 061, 42 24 56	58 až 63
Základové desky	42 24 56, 42 26 61.2	
Zakládací kroužky	11 600	
Přidržovač	19 191, 19 436, 42 24 56	61 až 63

2.6.1 Tažnice [4], [6], [24]

Jednou z hlavních částí tažidla, které se aktivně podílí na procesu tažení je tažnice. Konstrukčně může být řešena jako dělená či nedělená a upevněna je v základové desce pomocí šroubů s kolíky nebo pomocí zalisování. Pro kruhové dílce mají prstencový tvar a důležitá je především konstrukce tažné hrany. Nejčastější tvary funkční plochy tažnice jsou znázorněny na obrázku 18. Kvůli dodržení jakosti výroby je středěna v základové desce a upevněna pomocí šroubů a zakládacího kroužku. Uložení tažnice v základové desce bývá H11/h11. Spodní část tažnice obvykle obsahuje ostrý přechod určený pro stírání výtažku z tažníku. Konstrukce tažnic je rozdílná v případě první a při dalších operacích. V případě dalších tahů je spodní část odlehčena.



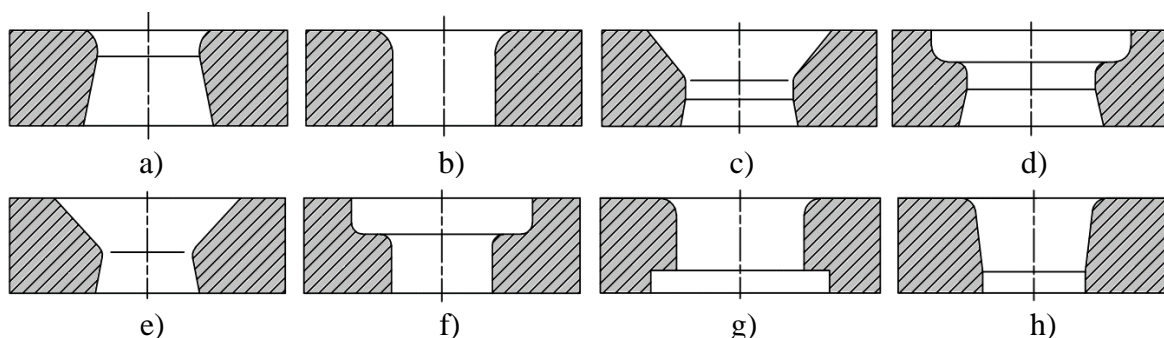
Obr. 18 Příklady úprav funkčních ploch tažnic [4]

Tvar a poloměr zaoblení tažné hrany tažnice jsou spolu s tažnou mezerou důležitými parametry při tažení a mají přímý vliv na rozměrovou přesnost a kvalitu výtažků. Pokud bude

poloměr zaoblění velký, usnadní se tažení a lze táhnout hlubší výtažky. Může však vznikat nebezpečí zvlnění vlivem zmenšení plochy pod přidržovačem.

Kromě již zmíněných tvarů tažných hran existuje mnoho dalších možností konstrukce otvorů v tažnici. Znázorněny jsou na obrázku 19 a vlastnosti daných konstrukcí mohou být následující:

- výtažek se vrací nad povrch tažnice a je setřen z tažníku (obr. 19a),
- výtažek propadá tažnicí a je setřen ostrou hranou nebo stíračem (obr. 19b),
- výtažek se vrací nad povrch tažnice, konstrukce je vhodná pro druhé, popřípadě další tahy (obr. 19c),
- výtažek se vrací nad povrch tažnice, vhodné pro druhé a další tahy do průměru 60 mm (obr. 19d),
- výtažek propadá, konstrukce pro druhé a další tahy (obr. 19e),
- výtažek propadá, vhodné pro druhé a další tahy (obr. 19f),
- tažný otvor dole odlehčený (obr. 19g),
- tažný otvor kuželový, vhodné pro tažení bez přidržovače (obr. 19h).



Obr. 19 Příklady konstrukce tažnic [24]

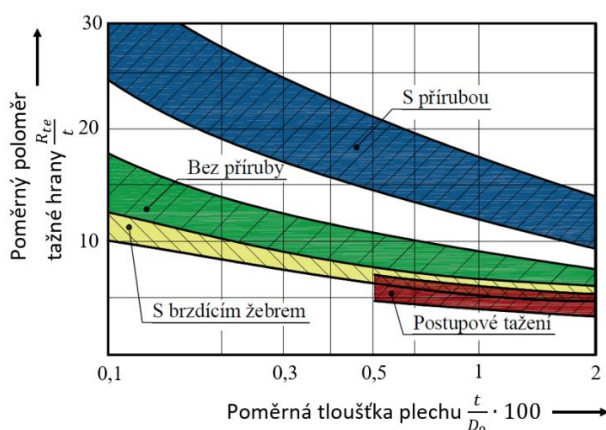
Postupů, jak zvolit vhodný poloměr zaoblění tažné hrany, existuje více. Norma ČSN 22 7301 uvádí vzorec pro poloměr zaoblění tažnice R_{te} ve tvaru:

$$R_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot t \quad (2.20)$$

Kromě výpočtu je možno stanovit hodnoty poloměru zaoblění pro různé typy výtažků také odečtením z diagramu na obrázku 20.

Dále lze určit poloměr zaoblění tažnice pomocí vzorce zahrnující rovněž vliv průměru výtažku:

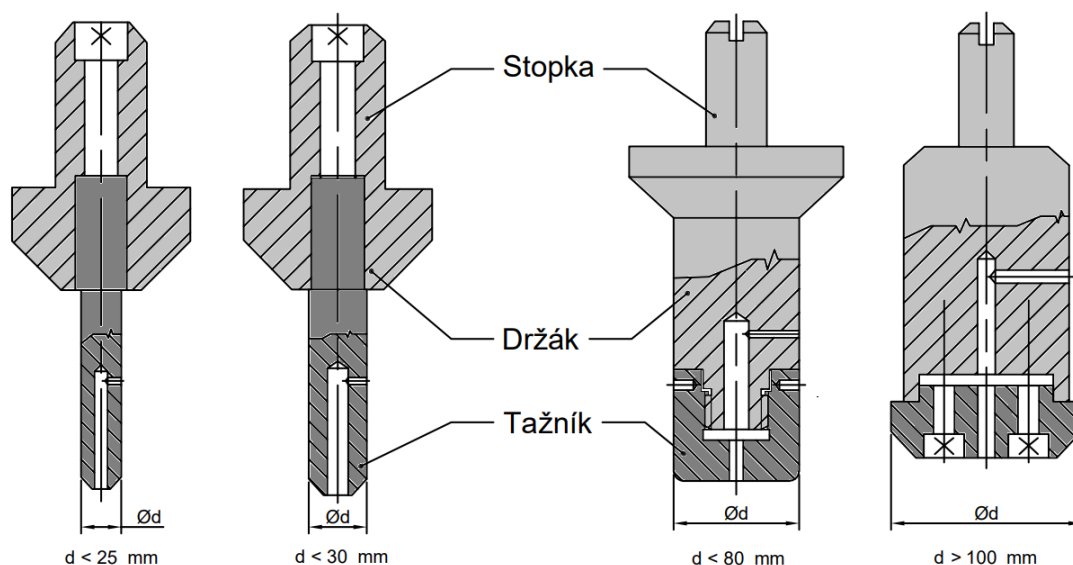
$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot t} \quad (2.21)$$



Obr. 20 Graf ke stanovení poloměru tažné hrany tažnice [6]

2.6.2 Tažníky [4], [6], [24]

Tažníky mají vnější průměr shodný s vnitřním průměrem výtažku. Vzhledem k jejich velikosti se zhotovují buďto z jednoho kusu nebo dělené, kdy jedna část tvoří funkční tažník a druhá držák se stopkou. Upínání je obdobné jako v případě střižníků, tedy za stopku do otvoru v tažném lisu. Přesný druh upnutí je však volen dle typu stroje. V tělu tažníku se nachází otvor určený k přívodu vzduchu ke dnu výtažku, aby nevznikal problém s podtlakem a mohl se výtažek snadno vyjmout z tažníku. Různé příklady konstrukce tažníků zobrazuje obrázek 21.



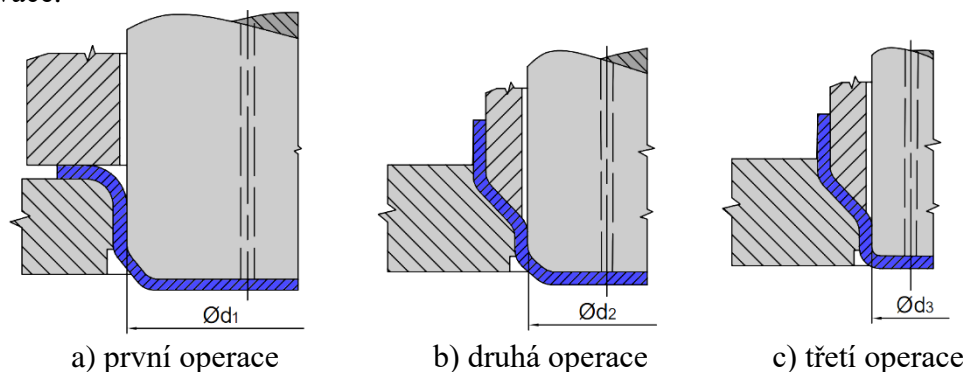
Obr. 21 Příklady konstrukce tažníků pro různé velikosti výtažků [6]

Poloměr zaoblění funkční hrany tažníku se volí v prvním a dalších tazích stejný jako poloměr tažné hrany tažnice. Při posledním tahu je ovšem nutnost dodržet minimální hodnoty velikosti zaoblění tažníku, které jsou uvedeny v tabulce 8. V případě, kdy je vyžadován výtažek s menším poloměrem zaoblění než hodnoty v tabulce, provede se navíc kalibrační operace, respektive mění se pouze poloměr zaoblění dna výtažku, ale průměr výtažku zůstává stejný.

Tab. 8 Minimální poloměry zaoblění tažníku [4]

Průměr výtažku [mm]	Poloměr zaoblění tažníku R_{tu} [mm]
10 až 100	$(3 \text{ až } 4) \cdot t$
100 až 200	$(4 \text{ až } 5) \cdot t$
200 a více	$(5 \text{ až } 7) \cdot t$

Při víceoperačním tažení se hrany tažníků pro mezitahy často upravují zkosením pod úhlem 30° až 45° , jak lze vidět na obrázku 22. Pod stejným úhlem se následně upraví i tvar přidržovače.



a) první operace

b) druhá operace

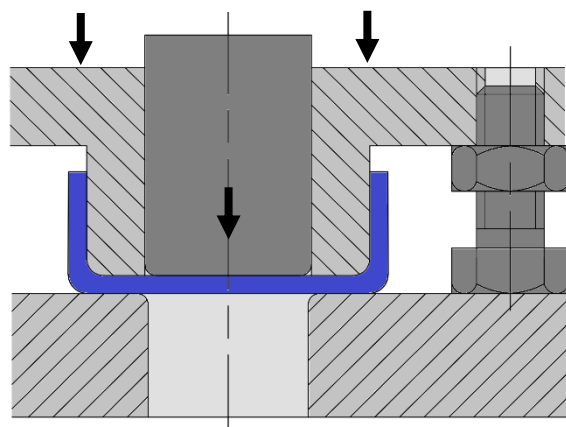
c) třetí operace

Obr. 22 Tvary tažníku a přidržovače při víceoperačním tažení [6]

2.6.3 Přidržovač a brzdňá žebra [4], [6], [20], [21]

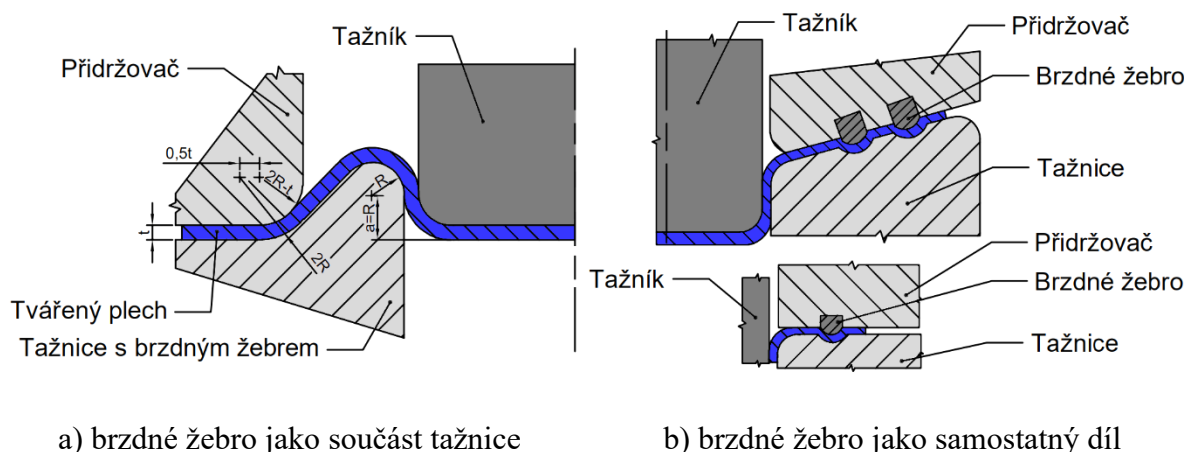
Funkce a podmínka použití přidržovače již byla zmíněna výše a popsána je zde tedy pouze jeho konstrukce. Přidržovač bývá prstencového tvaru a je umístěn v upínací desce, kde je upnut pomocí zakládacího kroužku. Tvar přidržovače opět závisí na typu tažné operace. Pro první tažnou operaci je rovný a při mezitazích a poslední tažné operaci bývá zkosený, aby kopíroval tvar výtažku, který má po předchozí zkosené operaci kuželovou plochu.

Ovládání přidržovačů u jednočinných lisů je zajištěno přímo vlivem nástroje nebo vlivem přidavných zařízení, kdežto u lisů s vícečinným zdvihem jsou ovládané samostatně pomocí vnějších sil. V praxi se používají buď jednoduché pružinové a mechanické přidržovače nebo speciální pneumatické či hydraulické, pomocí kterých lze během tažení přizpůsobovat tažnou sílu a zajistit rovnoměrný tlak, což umožní zhotovit složitější výtažky. Nežádoucím zvýšení tažné síly jednoduchého pružinového přidržovače je možno zabránit například dorazovým šroubem, který je nastaven podle tloušťky taženého plechu, viz obrázek 23, nebo je plech vkládán do středícího zapuštění, kdy přidržovač dosedá na osazenou část a nikoliv přímo na tvářený plech.



Obr. 23 Přidržovač s dorazovým šroubem [20]

Při tažení komplikovanějších výtažků s vypouklým dnem nebo v případě nerotačních tvarů je důležité zajistit významně pevné přidržení materiálu. Docílit toho lze pomocí tzv. brzdných žebër. U rotačních výtažků se používají vtahovací žebra, které bývají na okraji tažnice a u nepravidelných výtažků žebra brzdící, která se nachází dále od okraje a jsou součástí tažnice nebo i přidržovače. Při průchodu přes tyto žebra se zmírňuje tok materiálu, který se během tváření výrazně zpevňuje. Brzdná žebra, která jsou znázorněna níže na obrázku 24, mohou být konstruována jako samostatné díly, které se následně připevní pájením, popřípadě šroubem, nebo jsou přímo součástí tažnice.



a) brzdné žebro jako součást tažnice

b) brzdné žebro jako samostatný díl

Obr. 24 Konstrukce brzdných žebër [21]

2.7 Tažné lisy [18], [20], [25], [26]

Operace hlubokého tažení jsou ve většině případů realizovány na tzv. tažných lisech. Dělí se podle způsobu provedení na mechanické lisy a hydraulické lisy a podle konstrukce na jednočinné, dvojčinné, popřípadě trojčinné. V případě hlubokého tažení tenkých výtažků se používají především mechanické nebo hydraulické dvojčinné lisy.

Mechanické lisy mají obecně větší zdvihy a silnější motor. Mezi mechanicky ovládané stroje patří například lisy výstředníkové nebo klikové, viz obrázek 25. Charakteristickou vlastností těchto lisů je proměnná tvářecí síla, která dosáhne maximální hodnoty těsně před dolní úvratí. Závislost rychlosti, zrychlení a síly na pracovní poloze mechanického lisu je znázorněna na obrázku 26.

Hydraulické lisy je možné konstruovat na síly až 10 000 MN. Oproti mechanickým lisům lze libovolně měnit velikost pracovního zdvihu i rychlost pohybu beranu. Docílit maximální síly je na rozdíl od mechanických lisů možno v kterékoli části zdvihu a tlak i rychlosti beranu jsou přitom konstantní. Nevýhodou hydraulických lisů je složitost konstrukce pohonu a s tím spojené vysoké pořizovací náklady. Chod beranu je pomalejší a tím pádem má obvykle nižší produktivitu.

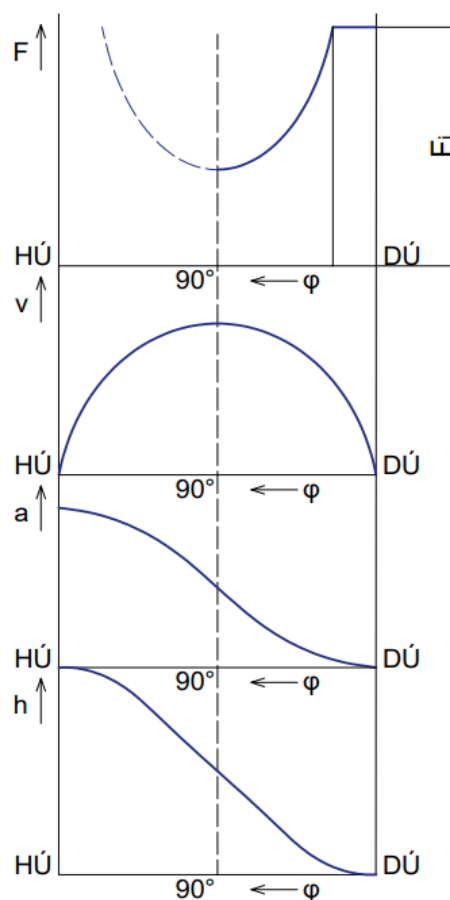
Použití jednočinných lisů je především v malosériové výrobě při tažení malých až středně velkých výtažků. Tažení probíhá buď bez přidržovače nebo s přidržovačem, který je ovládán pomocí pružin nebo speciálního pneumatického či hydraulického zařízení.

Dvojčinné lisy se používají pro tažení hlubších a větších výtažků a obsahují i mechanismus pro vyvození síly vyhazovače a jeho seřízení dosednutí. Skládají se ze dvou beranů – vnitřního a vnějšího. Vnější beran slouží k ovládání přidržovače, například pomocí vačkového nebo pákového mechanismu, a vnitřní beran provádí samotné tažení. Často používané jsou hydraulické dvojčinné lisy, jejichž výhoda spočívá v možnosti plynule řídit tažnou i přidržovací sílu.

Trojčinné lisy se používají pro tažení karoserií. Výroba těchto dílců je poměrně náročná, proto mají ve stole navíc samostatně hnané třetí smykadlo. Možná je i náhrada trojčinných lisů dvojčinnými s přídatným hydraulickým zařízením.



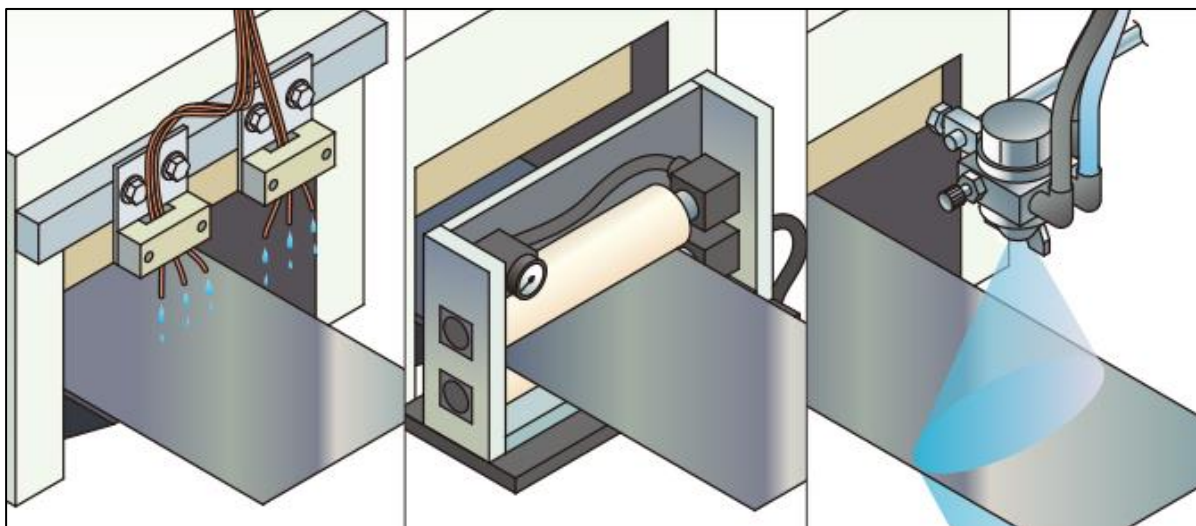
Obr. 25 Klikový tažný lis [25]



Obr. 26 Pracovní cyklus klikového lisu [26]

2.8 Maziva v procesu tažení [4], [11], [22], [27]

Při procesu tažení vzniká výrazné tření, které následně zvyšuje tažnou sílu a mohlo by dojít k poškození tažných nástrojů nebo výtažku například vlivem vzniku studených svarů. Aby se tření co nejvíce eliminovalo, používají se různá maziva, která usnadňují tok materiálu. Jelikož má tření mezi tažníkem a výtažkem výhodné vlastnosti v podobě zabránění skluzu materiálu podél tažníku, maže se pouze jedna strana přístřihu, tedy ze strany tažnice. Ke snížení tření je dále potřeba vysoká kvalita povrchu tažnice a přidržovače, pomocí čehož lze také docílit dobrých kluzných vlastností.



a) nanášení trubičkami b) nanášení plstěným válcem c) nanášení stříkácí pistolí

Obr. 27 Způsoby nanášení maziva na plechy [27]

Způsobů nanášení maziva na povrch plechu je mnoho. Vybrané metody se nachází na obrázku 27. Kromě ručního nanášení štětcem lze aplikovat mazivo pomocí trubiček (obr. 27a), ze kterých mazivo postupně odkapává. Tento způsob je jednoduchý a levný, avšak nelze dosáhnout dokonalého nanášení maziva po celé ploše. Dalším způsobem je aplikace pomocí plstěného válce nasyceného olejem (obr. 27b), kde je šířka nanášeného oleje omezena rozměrem válce a může zde docházet k nerovnoměrnému nanášení oleje. Nejvýhodnější je nástřik pomocí automatických stříkácích pistolí (obr. 27c). Při této metodě dochází prostřednictvím regulace tlaku přiváděného vzduchu k rovnoměrnému nánosu oleje.

Používaná maziva musí dobře přilnout na povrch a vytvořit rovnoměrnou vrstvu, zároveň ale nesmí povrch nástroje a výrobku nijak poškozovat. Volba druhu maziv probíhá na základě posouzení druhu taženého materiálu a obtížnosti tažení. Po dokončení tažných operací, kdy již není mazivo na povrchu dílce zapotřebí, je důležitým faktorem jeho bezproblémové odstranění z povrchu.

2.9 Technologické zásady [4], [11]

K dosažení kvalitního výtažku je nutné dodržet určité technologické zásady. Hlavními požadavky jsou:

- výška výtažku by měla být co nejmenší,
- tvar by v nejlepším případě měl být rotační s rovným dnem,
- v případě hranatých výtažků musí být rohy zaoblené s velkým poloměrem,
- výtažky konstruovat s přírubou pouze pokud jsou nezbytně nutné,
- tolerance rozměrů volit tak, aby se výtažky nemuseli kalibrovat,
- materiály by měli mít dobré tažné vlastnosti.

Pokud je vyžadována tloušťka stěny menší než tloušťka dna výtažku, jedná se o technologii tažení se ztenčením stěny, kdy je tloušťka stěny redukována v tažné mezeře mezi tažníkem a tažnicí, která je menší než tloušťka polotovaru. Polotovar je zpravidla tvaru kalíšku, jenž byl zhotoven v předchozí operaci běžným způsobem. Počet tažných operací určuje druh použitého materiálu a poměr příslušných tloušťek stěn materiálu. V praxi lze pro určení počtu operací použít kromě početního způsobu také diagramy mezního stupně tažení. Výhodou tohoto způsobu tažení je dosažení vyššího stupně poměrné deformace a lze tedy použít méně tažných operací. Jelikož dochází k intenzivnímu zpevňování materiálu, je nutné použít tepelné zpracování po každé operaci.

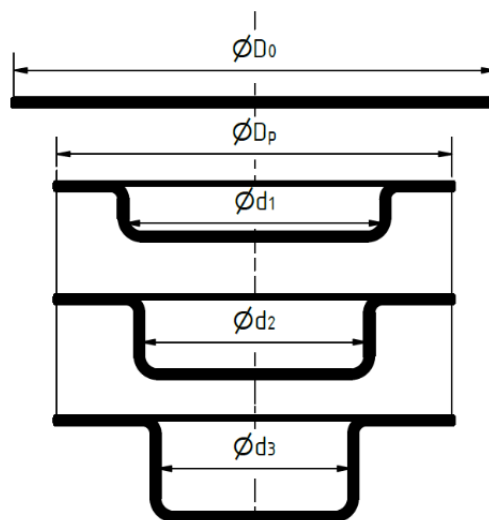
Výtažky s širokou přírubou se táhnou obtížněji, než výtažky s úzkou nebo bez přírubby. U takto tvarovaných výtažků se nejčastěji při první tažné operaci z přístřihu nejdříve zhotoví kalíškovitý polotovar s požadovaným průměrem přírubby, který již zůstává při všech dalších operacích stejný. Další operace pouze zmenšují průměr válcové části a zvětšují výšku výtažku, viz obrázek 28. Součinitel tažení pro první operaci se při tomto způsobu volí nižší než u výtažků bez přírubby. Pro další tahy je hodnota součinitele tažení stejná jako u běžných válcových výtažků. Jak již bylo zmíněno, je také důležité, aby výška výtažku nebyla příliš velká. Maximální výšku výtažku h_1 zhotovitelnou v jedné tažné operaci je možno stanovit z podmínky rovnosti ploch povrchu polotovaru a výtažku.

$$h_1 = \frac{D_0^2 - D_p^2}{4 \cdot d_1} + 0,86 \cdot R_1 \quad (2.22)$$

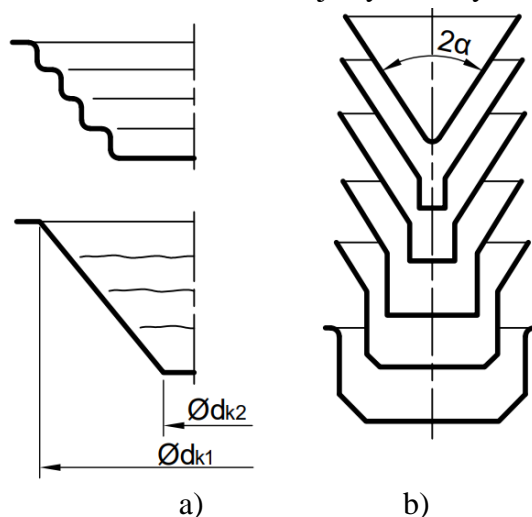
kde: R_1 – poloměr zaoblení přechodu přírubby do válcové části [mm].

Podobným způsobem se zhotovují také stupňovité výtažky. Prvním způsobem výroby je vytvoření základního stupně, který má průměr shodný s největší průměrem výsledného výtažku a tento rozměr, stejně jako průměr přírubby, již dále zůstává neměnný. Další stupně se táhnou analogicky jako v případě tažení výtažků s širokou přírubou. Druhá možnost je výtažek vyrobit pouze pomocí jedné tažné operace. Docílit toho lze, pokud je součinitel tažení, který je získán pomocí poměru přístřihu plechu a průměru nejmenšího stupně výtažku, větší než minimální hodnota součinitele tažení pro první tah běžných válcových výtažků.

Tažení kuželových výtažků je poměrně náročné. Způsobuje to velká nepřidržívaná plocha mezi průměry d_{k1} a d_{k2} , která může způsobit zvlnění. Zabránit vzniku vln je možno například pomocí vytvoření brzdícího žebra na tažnici. Při výrobě hlubokých kuželových výtažků se používá několik metod víceoperačního tažení. Příklady způsobu tažení těchto výtažků kuželového tvaru jsou schematicky znázorněny na obrázku 29. První



Obr. 28 Tažení součástí s širokou přírubou [4]



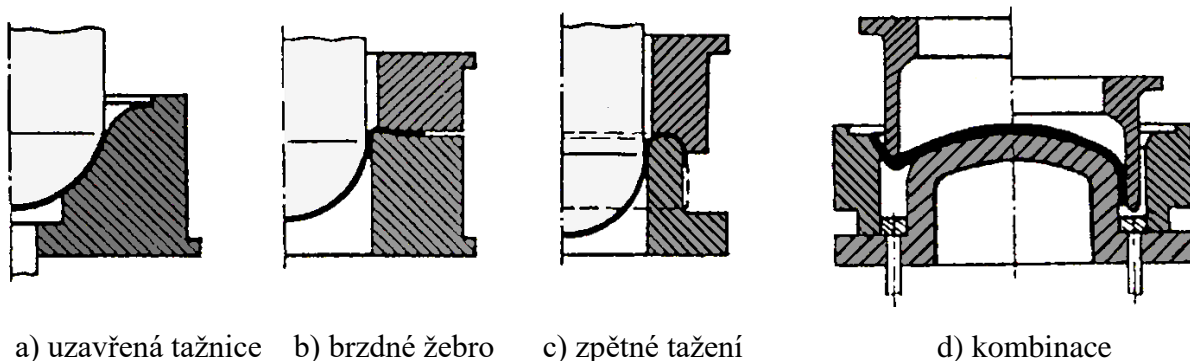
Obr. 29 Tažení kuželových výtažků [4]

způsob je zhotovit odstupňovaný výtažek, který se následně kalibrací upraví na požadovaný kuželový tvar (obr. 29a). Tato metoda však nezanechá hladký povrch a musela by se zařadit dodatečná operace úpravy povrchu. Další způsob je zhotovit nejdříve válcový výtažek s průměrem stejným jako průměr požadovaného kuželového výtažku a následně plášť postupně tvarovat do kuželového tvaru (obr. 29b). Třetí variantou je výroba kuželového tvaru z válcového dílce podélným vtlačáním válcového výtažku do kuželové tažnice silou působící na okraj výtažku.

Tažení součástí sférických tvarů neboli výtažků s vypouklým dnem také představuje určitá rizika. Tažník se v počáteční poloze tažení dotýká přístřihu pouze v jednom bodě a vzniká velká nepřidržovaná plocha, stejně jako v případě výroby kuželových tvarů. Kromě nebezpečí ztráty stability a vzniku zvlnění se mohou ve výtažku objevit i trhliny. Pokud poměrná tloušťka přístřihu splňuje následující podmínku táhne se bez přidržovače s následnou kalibrací v uzavřené tažnici:

$$\left(\frac{t}{D_0}\right) \cdot 100 > 3 \quad (2.23)$$

Ovšem pokud výše zmíněná podmínka neplatí, tažení probíhá s přidržovačem a brzdícím žebrem nebo se použije zpětné tažení, popřípadě kombinace přímého a zpětného tažení. Zmíněné technologie tažení sférických výtažků jsou zobrazeny na obrázku 30.



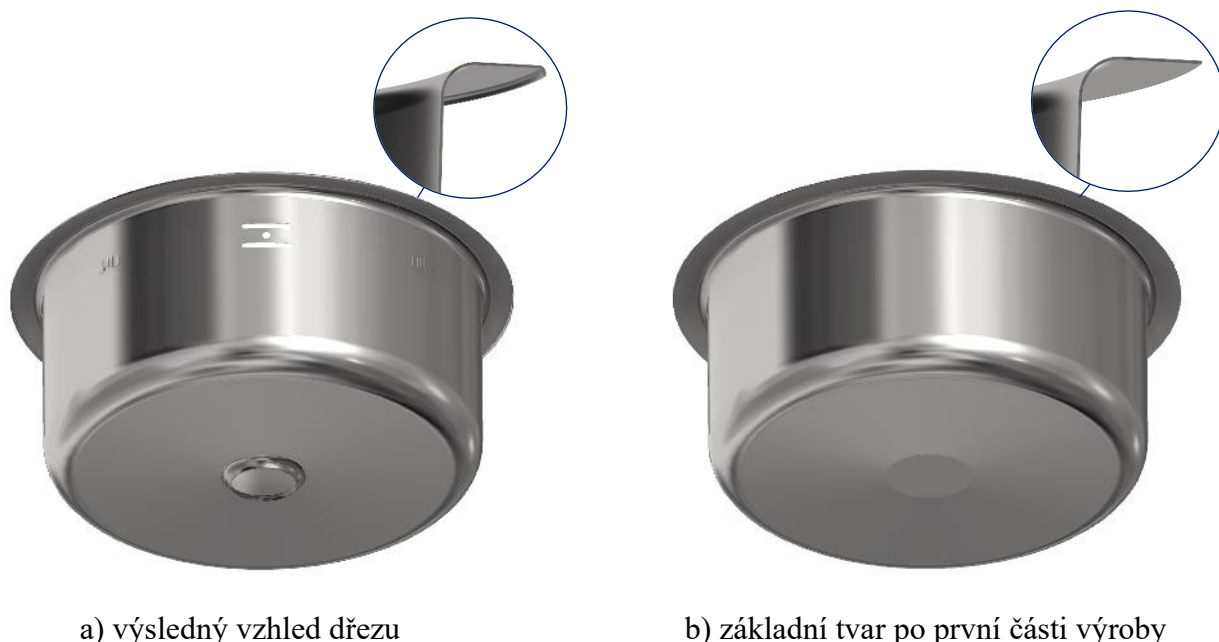
Obr. 30 Způsoby tažení sférických výtažků [4]

Zvláštní přístup vyžadují také výtažky nerotačních tvarů, jejichž technologické podmínky jsou jiné než u válcových součástí. Důvodem je rozdílný stav napjatosti v rohovém zaoblení a svislých stěnách. Jelikož je problematika tažení nerotačních výtažků poměrně obsáhlá a tato práce je zaměřena na rotační výtažek, nebude toto téma více rozebíráno.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Zadaný tvar kuchyňského dřezu z korozi-vzdorné oceli X5CrNi18-10, s tloušťkou stěny $t = 0,8$ mm a vnitřním průměrem $d_1 = 400$ mm, bude vyráběn pomocí technologie tažení. Výkres dřezu se všemi rozměry je umístěn v příloze práce. Dřez je rotačního symetrického tvaru s úzkou přírubou a lemem po obvodu.

Po vytažení základního tvaru následuje operace ostřížení okraje příruby z důvodu možného vzniku cípatosti. Dále se již v samostatné lemovací operaci zhotoví lem dřezu. V další fázi se vystříhnou otvory na boku stěny pro přepad vody a otvor ve dně, který se využije pro následné protahování prolisu pro zápachovou uzávěrku. Další částí v celkovém postupu výroby je zhotovení a přivaření ocelových držáků, do kterých se vsune úchytka. Na závěr se dřez přebrousí a přešetří na požadovanou jakost povrchu. Tato práce je zaměřena pouze na část tažení základního tvaru, viz obrázek 31, a další části již nebudou dále podrobně rozebírány. Výrobní série je stanovena na 200 000 kusů.



Obr. 31 Vzhled součásti v průběhu výroby

3.1 Technologičnost zadané součásti [20]

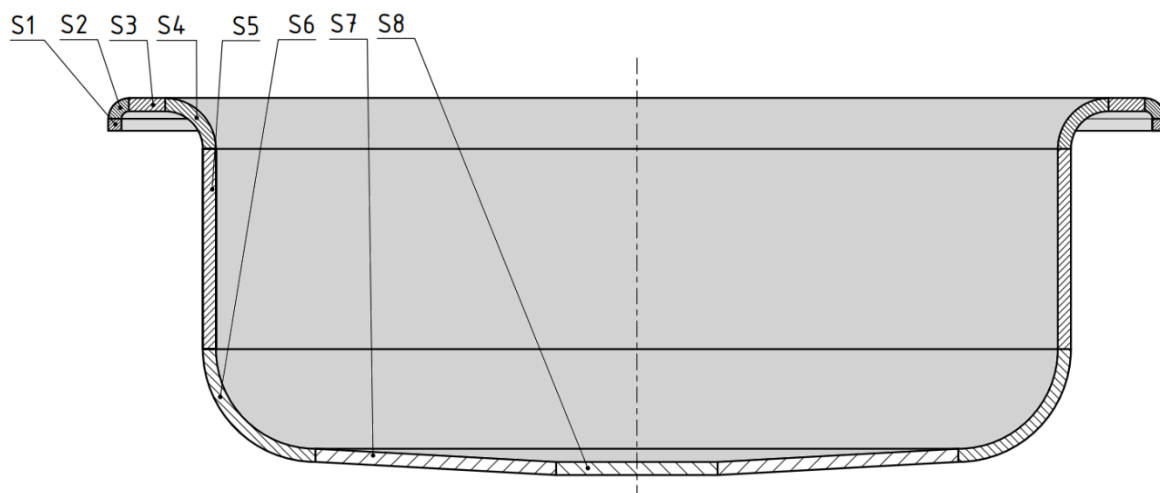
Vyráběný dřez musí splňovat určitá kritéria, aby mohl být správně vyroben bez komplikací. Mezi nejdůležitější patří vhodný tvar dřezu a správně zvolené základní rozměry, které jsou ověřeny různými technologickými výpočty.

Dřez je rotačního symetrického tvaru s mírně zkoseným dnem. Jelikož se však jedná pouze o nepatrné zkosení je možno při výpočtech uvažovat dno výtažku jako rovné. Výška výtažku není vzhledem k průměru nijak příliš velká. Výtažek obsahuje přírubu s lemem, avšak jedná se o úzkou přírubu, která obvykle nezpůsobuje při výrobě žádné větší komplikace.

Dřez neobsahuje příliš přesné tolerance rozměrů ani geometrické tolerance, proto je pomocí běžných tažidel dobře vyrobitelný a nebude třeba kalibrace. Korozi-vzdorná ocel X5CrNi18-10, která je použita pro výrobu, má oproti běžným hlubokotažným ocelím poměrně vysokou mez pevnosti. Výhodnou vlastností pro tažení je jeho nízká mez kluzu a především dobrá tažnost.

3.2 Velikost přístřihu

Základním parametrem, který hraje důležitou roli při návrhu polotovaru je velikost přístřihu. Z této hodnoty se dále určuje rozložení výstřižků na tabuli nebo svitku plechu a zároveň musí být zvolen tak, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám materiálu nebo naopak k výrobě zmetků vlivem malého průměru přístřihu.



Obr. 32 Jednotlivé plochy výtažku

Při výpočtu se vychází ze zákona rovnosti ploch, přesněji ze základních vzorců pro výpočet obsahu vnějších ploch výtažku. Pro stanovení obsahu těchto ploch je vhodné výtažek rozdělit na jednoduché základní plochy rovinných a zaoblených tvarů, jak je graficky znázorněno na obrázku 32.

Po rozdělení výtažku na menší části je celkový obsah vypočten pomocí vzorců pro obsah jednotlivých ploch. Tvar dřezu včetně rozměrů potřebných pro výpočet je znázorněn v příloze 1. Indexy značek veličin se shodují s číselným označením ploch výtažku.

$$S_1 = \pi \cdot d_{S1} \cdot h_{S1} = \pi \cdot 460 \cdot 1 = 1445,13 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_{S2} \cdot R_{S2} + 4 \cdot R_{S2}^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 456 \cdot 2 + 4 \cdot 2^2) = 4525,67 \text{ mm}^2 \quad (3.2)$$

$$S_3 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{S2}^2 - d_{S3}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (456^2 - 421,6^2) = 23710,73 \text{ mm}^2 \quad (3.3)$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_{S3} \cdot R_{S4} - 4 \cdot R_{S4}^2) \quad (3.4)$$

$$= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 421,6 \cdot 10,8 - 4 \cdot 10,8^2) = 21736,67 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = \pi \cdot d_{S5} \cdot h_{S5} = \pi \cdot 401,6 \cdot 142,2 = 179408,57 \text{ mm}^2$$

$$S_6 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_{S6} \cdot R_{S6} + 4 \cdot R_{S6}^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 340 \cdot 30,8 + 4 \cdot 30,8^2) = 57637,73 \text{ mm}^2$$

$$S_7 = \frac{\pi}{2} \cdot f_{S7} \cdot (d_{S6} + d_{S7}) = \frac{\pi}{2} \cdot 130,09 \cdot (340 + 80) = 85824,86 \text{ mm}^2 \quad (3.5)$$

$$S_8 = \frac{\pi}{4} \cdot d_{S7}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 80^2 = 5026,55 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

Kontrola výsledků proběhla za pomoci CAD softwaru Autodesk Inventor 2019. Získané hodnoty obsahů ploch jednotlivých částí se nachází v tabulce 9.

Tab. 9 Obsahy jednotlivých ploch získané pomocí počítačového softwaru

Obsah plochy [mm ²]							
S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
1445,13	4525,67	23710,73	21736,67	178929,61	57637,73	85821,51	5026,55

Obsahy ploch získané pomocí CAD softwaru se liší pouze v některých případech a rozdíl mezi těmito výsledky je zcela zanedbatelný. Nepřesnost vznikla vlivem zaokrouhlování a zjednodušení tvarů v případě ručního výpočtu. Pro další výpočty budou použity obsahy ploch získané pomocí CAD softwaru.

Součtem jednotlivých obsahů je získána celková plocha všech částí výtažku. Z této hodnoty se vychází při dalších výpočtech.

$$S_C = \sum_{i=1}^8 S_i = 378833,60 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

kde: S_i – obsah jednotlivých ploch [mm²].

Průměr přístřihu polotovaru je následně vypočten pomocí vzorce (2.2):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_C}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 378833,60}{\pi}} = 694,51 \text{ mm}$$

S přihlédnutím na optimální výrobní toleranci přístřihu je průměr polotovaru zvolen velikosti D₀ = 695 mm.

3.3 Stanovení počtu tažných operací [21]

Z tvaru součásti vyplývá, že je nezbytné použití více tažných operací, jelikož se nejdříve pomocí jednoho nebo více tahů zhotoví průměr d = 400 mm, viz obrázek 33, a následně bude tvářena příruba s lemem dřezu, která je zobrazena na obrázku 34. Tento lem již bude tvářen jen na jednu lemovací operaci.

V případě tažení průměru d je tedy nutné určení počtu tahů k bezpečné výrobě výtažku bez vad. K určení této hodnoty se využije již vypočtený rozměr přístřihu a musí se také zvolit koeficient tažení podle relativní tloušťky materiálu. Pro zadaný dílec jsou velikosti součinitele tažení pro jednotlivé operace získány pomocí vzorce (2.3) a tabulky 3:

$$t_r = \frac{t}{D_0} \cdot 100 = \frac{0,8}{695} \cdot 100 = 0,12 \%$$

Pomocí tabulky 3 se určily hodnoty součinitele tažení pro zadaný dílec, které byly následně pro přehlednost vyneseny do tabulky 10. Pro další výpočty bude volena vždy horní mez daného součinitele tažení.

Tab. 10 Součinitelé tažení pro zadaný dílec [21]

	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅
Součinitel tažení [-]	0,60-0,63	0,80-0,82	0,80-0,84	0,85-0,86	0,87-0,88

Počet tažných operací je vypočten pomocí vzorce (2.5):

$$n = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(m)} = 1 + \frac{\ln 400 - \ln(0,63 \cdot 695)}{\ln(0,75)} = 1,31$$

Hodnota výsledného počtu tahů je rovna 1,31, což znamená, že výtažek musí být zhotoven pomocí dvou tažných operací.

Z důvodu možného vzniku cípatosti musí být výlisek po operaci tažení ostřížen, tudíž je nutné zvětšit plochu přístřihu. Při první tažné operaci je třeba přídavek 3 % průměru přístřihu a při druhé tažné operaci přídavek velikosti 1 % průměru přístřihu.

$$D_0 = 695 \cdot 1,03 \cdot 1,01 = 723,01 \text{ mm} \quad (3.8)$$

Výsledný rozměr přístřihu je zaokrouhlen na 723 mm. Vhodnost volby rozměru bude ještě experimentálně zkoumána praktickými zkouškami a numerickou simulací.

K výpočtu průměru zhotoveného pomocí první tažné operace se využije vzorec (2.4), pomocí kterého se určí minimální průměr výtažku, který lze v první tažné operaci vyrobit. Pro první tah platí:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,63 \cdot 723 = 455,49 \text{ mm}$$

Z důvodu optimální šířky přidržovače a rovnoměrného rozložení průměrů zhotovovaných pomocí jednotlivých operací je zvolen průměr $d_1 = 485 \text{ mm}$.

Obdobným způsobem se vypočte rozměr zhotovený při druhém tahu. Průměr výtažku pro druhou operaci je dle vzorce (2.4):

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,82 \cdot 485 = 397,7 \text{ mm}$$

Vypočtený rozměr je menší než požadovaný rozměr daný výkresem. Proto bude při druhé operaci zhotoven průměr $d_2 = 400 \text{ mm}$.

Po vytažení průměru d_2 následuje operace tažení lemu, kde již nejsou třeba výpočty ke stanovení počtu operací, jelikož je lem velmi malý a jednoduše vyrobitelný, tudíž bude zhotoven pouze na jeden tah.

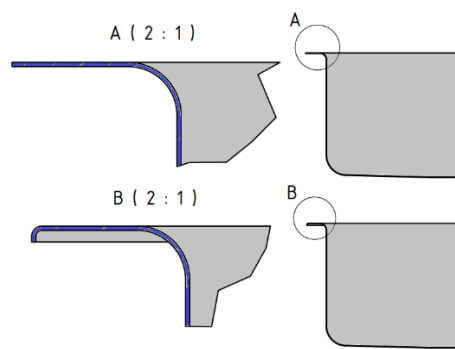


a) První tažná operace



b) Druhá tažná operace

Obr. 33 Proces tažení zadaného dřezu



Obr. 34 Tváření lemu dřezu

3.4 Varianty rozmístění výstřižků [28], [29]

K docílení dobré využitelnosti materiálu a eliminace nákladů je důležité správné rozmístění výstřižků a určení základního polotovaru, ze kterého bude zhotoven přístřih. Základním polotovarem bývá tabule plechu nebo svitek. Obecně lze říci, že při větších sériích je vhodnější svitek, avšak je nutné mít různá přídavná zařízení například pro odvíjení a rovnání plechu.

Možné varianty výroby přístřihu jsou například pomocí řezání laserem, plazmou, vodním paprskem, konvenčním stříháním nebo kotoučovými nůžkami. Po posouzení výrobní série a především požadovaného rozměru je zvolena technologie řezání pomocí laseru. Tato technologie je velmi rozšířená, produktivní, dobře automatizovatelná a umožňuje řezat i rozměrnější dílce.

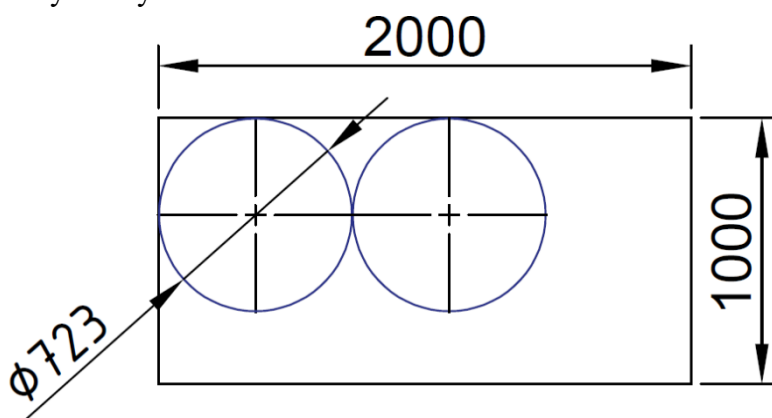
Odvíjení, rovnání a dělení svitku na jednotlivé kusy plechu by zapříčinilo prodloužení výrobních časů, a proto je jako polotovar zvolena tabule plechu. Rozměry tabulí plechu jsou získány dle katalogové nabídky obchodu s hutním materiálem Feron.cz. Nabízené rozměry tabulí plechu pro zvolený materiál jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11 Dostupné rozměry polotovaru [28]

Varianta A	Varianta B	Varianta C
0,8 × 1000 × 2000 mm	0,8 × 1250 × 2500 mm	0,8 × 1500 × 3000 mm

Nejvýhodnější varianta je volena na základě výpočtu maximálního využití materiálu. Vhodná varianta rozmístění výstřižků na tabuli plechu je určena pomocí softwaru poskytovaného stránkou nestingcenter.com. Pro řezání laserem se technologická mezera mezi výstřižky udává velikosti 5 až 10 mm. U větších součástí však může být tato mezera menší, proto je pro zadanou součást zvolena velikosti 3 mm.

- Varianta A – obsahuje plech o rozměrech 0,8 × 1000 × 2000 mm. Z obrázku 35 je patrné, že na tabuli plechu je možné umístit pouze jednu řadu výrobků a na tuto řadu lze umístit maximálně dva výstřižky.



Obr. 35 Rozmístění výstřižků (varianta A) [29]

Celkový počet tabulí N_C potřebných pro výrobu zadané série je vypočten pomocí vztahu:

$$N_C = \frac{N_s}{N_t} = \frac{200000}{2} = 100000 \text{ ks} \quad (3.9)$$

kde: N_s – vyráběný počet kusů [ks],

N_t – počet výstřižků na tabuli plechu [ks].

Pro danou výrobní sérii je při použití varianty A potřeba celkem 100000 kusů tabulí plechu o rozměru 0,8×1000×2000 mm.

Využití materiálu tabule plechu η je vypočteno pomocí vzorce:

$$\eta = \frac{N_t \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{N_t \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}}{A_0 \cdot B_0} \cdot 100 = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot 723^2}{4}}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 41,055 \% \quad (3.10)$$

kde: S_v – plocha přístřihu [mm²],

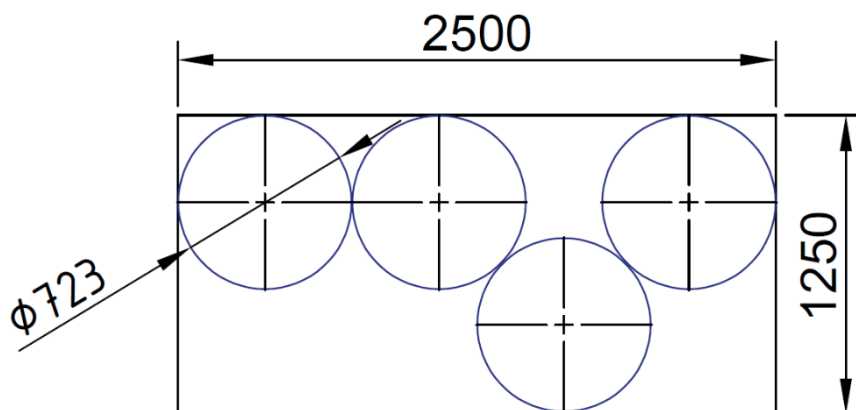
S_t – plocha tabule plechu [mm²],

A_0 – výška tabule plechu [mm],

B_0 – šířka tabule plechu [mm].

Využití plechu v případě varianty A je 41,055 %, což je pro danou sérii velmi malé využití a docházelo by ke zbytečným ekonomickým ztrátám.

- Varianta B – plech má rozměry $0,8 \times 1250 \times 2500$ mm. Na tabuli plechu lze střídavě umístit celkem čtyři kusy výstřižků, viz obrázek 36.



Obr. 36 Rozmístění výstřižků (varianta B) [29]

Celkový počet tabulí N_C je vypočten užitím vzorce (3.9):

$$N_C = \frac{N_s}{N_t} = \frac{200000}{4} = 50000 \text{ ks}$$

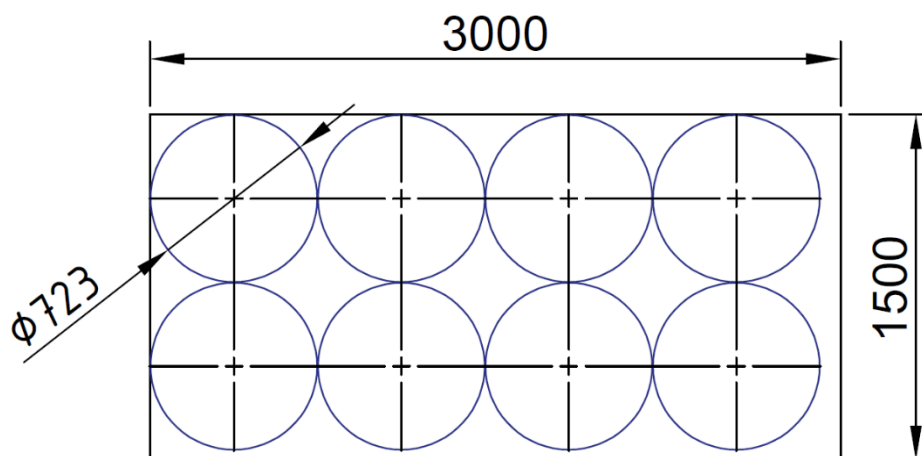
Při použití varianty B je třeba celkem 50000 kusů tabulí plechu o rozměru $0,8 \times 1250 \times 2500$ mm.

Využití materiálu tabule plechu η je určeno rovnicí (3.10):

$$\eta = \frac{N_t \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{N_t \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}}{A_0 \cdot B_0} \cdot 100 = \frac{4 \cdot \frac{\pi \cdot 723^2}{4}}{1250 \cdot 2500} \cdot 100 = 52,550 \%$$

Využití plechu v případě varianty B je 52,550 %. Využití materiálu je mírně vyšší než v předchozím případě.

- Varianta C – rozměry plechu jsou $0,8 \times 1500 \times 3000$ mm. Tato varianta umožňuje umístit na plech celkem dvě řady dílců přímo vedle sebe. Každá řada jich obsahuje čtyři kusy. Rozložení výstřižků je vyobrazeno na obrázku 37. Celkový počet výstřižků, který celá tabule plechu obsahuje je osm kusů.



Obr. 37 Rozmístění výstřižků (varianta C) [29]

Celkový počet tabulí N_C je určen rovnicí (3.9):

$$N_C = \frac{N_s}{N_t} = \frac{200000}{8} = 25000 \text{ ks}$$

Při použití varianty C je třeba celkem 25000 kusů tabulí plechu o rozměru $0,8 \times 1500 \times 3000$ mm. Tato varianta má nejmenší počet kusů plechu potřebných pro výrobu zadané série.

Využití materiálu η je vypočteno dle rovnice (3.10):

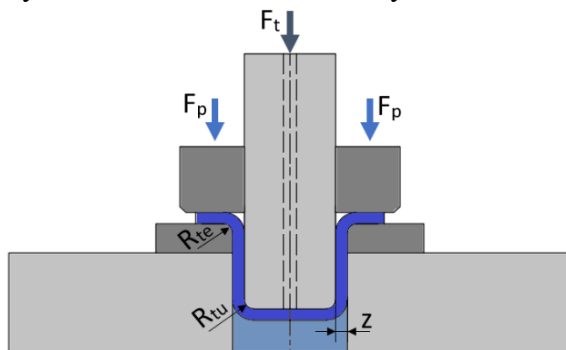
$$\eta = \frac{N_t \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{N_t \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}}{A_0 \cdot B_0} \cdot 100 = \frac{8 \cdot \frac{\pi \cdot 723^2}{4}}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 72,987 \%$$

Hodnota využití plechu je rovna 72,987 %.

Využití materiálu je v případě varianty C největší, tudíž je tato varianta nejvýhodnější a bude použita při zadané výrobě.

3.5 Technologické výpočty [28]

K návrhu tažného nástroje a zhodnocení vhodně zvoleného tvaru součásti je nutné stanovit další technologické výpočty. Mezi zkoumané parametry patří volba přidržovače, velikost tažné mezery, síly při tažení, tažná práce a poloměr zaoblení tažnice a tažníku. Schematické znázornění zmíněných vlastností je zobrazeno na obrázku 38. Výpočty budou provedeny pomocí více metod, ze kterých bude následně zvolena výsledná hodnota.



Obr. 38 Zkoumané vlastnosti tažidla

- Volba přidržovače – nutnost použití přidržovače bylo zkoumáno pomocí těchto metod:
 - První způsob posuzování způsobu tažení vychází ze vztahu (2.8), kam se dosadí již vypočtený rozměr přístřihu a tloušťka stěny výtažku:

$$\alpha = 50 \cdot \left(k_p - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{0,8}}{\sqrt[3]{723}} \right) = 90,02$$

Dalším krokem je dosazení výsledného koeficientu α do kritéria daného vzorcem (2.9):

$$\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0}$$

$$90,02 \geq 100 \cdot \frac{485}{723}$$

$$90,02 \geq 67,08$$

Z výsledku je patrné, že uvedená nerovnice platí a přidržovač je tedy nutné použít.

- Šofman doporučuje tažení s přidržovačem je-li splněna podmínka daná vzorcem (2.10):

$$D_0 - d \geq 18 \cdot t$$

$$723 - 485 \geq 18 \cdot 0,8$$

$$238 \geq 14,4$$

Výše uvedená nerovnice platí, což znamená, že i dle Šofmana je použití přidržovače nutné.

- Dle vztahu (2.3) je relativní tloušťka materiálu $t_r = 0,12 \%$, a proto i podle Freidlinga je přidržovač nezbytný, jelikož je relativní tloušťka menší než hodnota $1,5 \%$.

Podle všech tří metod je způsob tažení doporučován s přidržovačem, který bude použit při obou tažných operacích. Zda je nutné použít i brzdná žebra bude posouzeno užitím numerických simulací.

- Velikost tažné mezery – v případě zvolené součásti se jedná o tažení bez zeslabení stěny, tudíž bude tažná mezera větší, než je tloušťka plechu. K určení tažné mezery jsou využity tyto způsoby:

- Podle Oehlera je velikost tažné mezery vypočtena užitím vzorce (2.14). Pro zadanou součást je maximální tloušťka plechu dle tolerance $t_{\max} = 0,87 \text{ mm}$ a součinitel $k = 0,07$. Vzorec (2.14) je ve tvaru:

$$z = t_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot t} = 0,87 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,8} = 1,07 \text{ mm}$$

- Při způsobu stanovení tažné mezery podle tabulky 5 je pro tloušťku plechu $0,8 \text{ mm}$ vhodná tažná mezera velikosti $z = 0,9 \text{ mm}$.
- Podle normy ČSN 22 7301 je velikost tažné mezery pro první tah z_1 vypočtena pomocí vzorce (2.11):

$$z_1 = 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \text{ mm}$$

Pro druhý tah z_2 je využit vzorec (2.13), jelikož se jedná zároveň o poslední tah:

$$z_2 = 1,05 \cdot t = 1,05 \cdot 0,8 = 0,84 \text{ mm}$$

Pro první tah je s přihlédnutím na výsledky všech variant zvolena hodnota tažné mezery $z_1 = 1 \text{ mm}$. Pro druhý tah je výsledná hodnota tažné mezery $z_2 = 0,84 \text{ mm}$.

- Poloměr zaoblení tažnice – velikost lze stanovit pomocí tří metod:

- Podle normy ČSN 22 7301 se poloměr zaoblení tažnice vypočte pomocí vzorce (2.20):

$$R_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot t = 8 \cdot 0,8 = 6,4 \text{ mm}$$

- Dalším způsobem je odečtení této hodnoty z diagramu na obrázku 20. V tomto případě je velikost poloměru tažné hrany tažnice $R_{te} = 12 \text{ mm}$.
- Při použití vzorce (2.21) se počítá i s vlivem rozdílného průměru výtažku. Poloměr zaoblení tažnice je vypočten jako:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(723 - 485) \cdot 0,8} = 11,04 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení tažné hrany tažnice při prvním tahu je po posouzení všech výsledků zvolen $R_{te} = 10 \text{ mm}$. Dle výkresové dokumentace dřezu je poloměr zaoblení přechodu příruby do válcové části roven 10 mm . Proto je i pro druhý tah zvolena hodnota $R_{te} = 10 \text{ mm}$. Vhodnost zvoleného poloměru zaoblení bude ověřena pomocí numerické simulace.

- Poloměr zaoblení tažníku – v první tažné operaci bude mít tažník zaoblení shodné se zaoblením tažnice a v poslední tažné operaci je dáno geometrií výtažku. Je ovšem nutné ověřit, zda není překročena minimální velikost zaoblení tažníku. Minimální hodnota je získána pomocí vztahu z tabulky 8:

$$R_{tu} = (5 \text{ až } 7) \cdot t = 6 \cdot 0,8 = 4,8 \text{ mm}$$

Z výsledku je patrné, že zvolený poloměr zaoblení tažníku při první operaci $R_{tu} = 10 \text{ mm}$ je vyhovující. Poloměr přechodu dna do válcové části je roven 30 mm, tudíž je větší než minimální velikost zaoblení tažníku a lze konstatovat, že výtažek zadaného tvaru může být zhotoven bez kalibrační operace. Výsledný poloměr zaoblení tažníku pro druhou tažnou operaci je dle geometrie výtažku zvolen $R_{tu} = 30 \text{ mm}$.

- Tažná síla – správná volba stroje a návrh nástrojů vyžadují určení sil působících při tažení. Pro jednotlivé operace je velikost kritické síly potřebné k utržení dna následující:
 - Pro první tažnou operaci dle vztahu (2.15) platí:

$$F_{krit1} = \pi \cdot d_n \cdot t \cdot R_m = \pi \cdot 485 \cdot 0,8 \cdot 490 = 597279,60 \text{ N}$$

- Kritická síla pro druhou tažnou operaci je stanovena dle rovnice (2.15):

$$F_{krit2} = \pi \cdot d_n \cdot t \cdot R_m = \pi \cdot 400 \cdot 0,8 \cdot 490 = 492601,73 \text{ N}$$

Podle normy ČSN 22 7301 je tažná síla stanovena pomocí vzorce, který obsahuje koeficient C zohledňující vliv součinitele tažení a proměnné tloušťky. Pro první tah dle tabulky 6 je hodnota $C_1 = 0,79$ a pro druhý tah $C_2 = 0,40$.

- Tažná síla pro první tah F_{tn1} dle vzorce (2.16):

$$F_{tn1} = C_1 \cdot \pi \cdot d_n \cdot t \cdot R_m = 0,79 \cdot \pi \cdot 485 \cdot 0,8 \cdot 490 = 471850,88 \text{ N}$$

- Tažná síla pro druhý tah F_{tn2} musí být z důvodu zpevnění materiálu navýšena o 15 %. Výsledný vzorec je ve tvaru:

$$\begin{aligned} F_{tn2} &= C_2 \cdot \pi \cdot d_n \cdot t \cdot R_m \cdot 1,15 \\ &= 0,40 \cdot \pi \cdot 400 \cdot 0,8 \cdot 490 \cdot 1,15 = 226596,79 \text{ N} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Po posouzení výsledků je výsledná tažná síla stanovena jako průměr hodnot získaných pomocí jednotlivých metod. Pro první tah je $F_{t1} = 534565,24 \text{ N}$ a pro druhý tah je $F_{t2} = 359599,26 \text{ N}$.

- Síla přidržovače – nejdříve je nutné stanovit tlak přidržovače a plochu na kterou působí. Tlak přidržovače pro korozivzdorný plech se udává 2 až 5 MPa, pro vyráběnou součást je zvolena hodnota $p_p = 2 \text{ MPa}$. Pomocí již známého rozměru polotovaru a rozměrů výtažku v jednotlivých operacích je zjištěna účinná plocha přidržovače. Výsledná plocha je určena užitím programu Autodesk Inventor. Pro první tah platí $S_{p1} = 208664,58 \text{ mm}^2$ a pro druhý tah $S_{p2} = 28710,21 \text{ mm}^2$. Síla přidržovače jednotlivých operací je následující:
 - První tažná operace vyžaduje přidržovací sílu stanovenou vzorcem (2.17):

$$F_{p1} = S_{p1} \cdot p_p = 208664,58 \cdot 2 = 417329,17 \text{ N}$$

- Pro druhý tah je síla přidržovače dle vztahu (2.17):

$$F_{p2} = S_{p2} \cdot p_p = 28710,21 \cdot 2 = 57420,42 \text{ N}$$

Síla přidržovače pro první tah $F_{p1} = 417329,17$ je z důvodu širší přidržované plochy větší, než přidržovací síla druhé tažné operace $F_{p2} = 57420,42$.

- Celková síla – výsledná síla potřebná pro zhotovení výtažků je určena jako součet jednotlivých tažných sil a sil přidržovače:

- Celková tažná síla prvního tahu je vypočtena pomocí vzorce (2.18):

$$F_{C1} = F_{t1} + F_{p1} = 534565,24 + 417329,17 = 951894,41 \text{ N}$$

- Při druhém tahu je celková síla dle (2.18):

$$F_{C2} = F_{t2} + F_{p2} = 359599,26 + 57420,42 = 417019,68 \text{ N}$$

Hodnota celkové tažné síly pro první tah je 951894,41 N a pro druhý tah 417019,68 N.

- Tažná práce – ke stanovení práce při tažení je nutné znát výšku výtažku v jednotlivých operacích a součinitel tažné práce. Při prvním tahu je výška $h_1 = 142 \text{ mm}$ a při druhém $h_2 = 187,7 \text{ mm}$. Jelikož se jedná o tažení bez kalibrace dna je pro výpočet využit součinitel $C_A = 0,66$:

- Tažná práce při prvním tahu vypočtena užitím vztahu (2.19):

$$A_1 = \frac{C_A \cdot F_{C1} \cdot h_1}{1000} = \frac{0,66 \cdot 951894,41 \cdot 142}{1000} = 89211,54 \text{ J}$$

- Při druhém tahu je tažná práce dle vzorce (2.19) určena jako:

$$A_2 = \frac{C_A \cdot F_{C2} \cdot h_2}{1000} = \frac{0,66 \cdot 417019,68 \cdot 187,7}{1000} = 51661,23 \text{ J}$$

Tažná práce pro první tah je velikosti 89211,54 J a pro druhý tah 51661,23 J.

Z výše uvedených hodnot se bude dále vycházet při konstrukci nástroje a při volbě tažného lisu. Výsledky budou dále zkoumány pomocí simulace tažení a zkušební výrobní série, na které bude posouzena správnost návrhu výroby.

3.6 Návrh tažného nástroje [30]

Při návrhu nástroje se vychází především z velikosti a tvaru vyráběné součásti, přičemž důležitou roli hraje také druh tvářecího stroje. Pomocí technologických výpočtů bylo zjištěno, že výtažek bude vyroben na dvě tažné operace za použití přidržovače. Při první tažné operaci se vychází z průměru přístřihu $D_0 = 723 \text{ mm}$ a výtažek bude průměru $d_1 = 485 \text{ mm}$. Síla potřebná pro zhotovení prvního výtažku je přibližně 952 kN. Při druhé tažné operaci bude zhotoven výtažek o průměru $d_2 = 400 \text{ mm}$, přičemž celková tažná síla je velikosti 417 kN.

Tvářecí lis musí mít kromě vhodně zvolené jmenovité síly také dostatečný pracovní prostor, aby bylo možné zajistit bezproblémovou manipulaci s plechy i výtažky. Důležitým parametrem je také samotný zdvih a sevření stroje. Po posouzení tvaru součásti, tažných sil, požadované výrobní série a pořizovacích nákladů stroje byl zvolen hydraulický dvojčinný lis Harsle Y27-200T. Jmenovitá síla lisu je 2000 kN, což s rezervou splňuje vypočtené síly potřebné pro tažení. Pracovní desky stroje obsahují T-drážky umožňující snadné upnutí nástroje. Ovládání pohybu přidržovače je zajištěno pomocí hydraulicky ovládaných kolíků ve spodní desce, viz obrázek 39. Parametry tažného lisu se nachází v příloze č. 2.



Obr. 39 Zvolený lis Y27-200T [30]

Pro zvolený stroj byly navrženy tažné nástroje pro první i druhý tah. V obou případech se jedná o tzv. obrácenou koncepci s nehybným tažníkem ve spodní části stroje. V procesu tažení tažnice postupně sjede až na polotovar plechu, kde pomocí hydraulicky ovládaného přidržovače vyvolá požadovanou přidržovací sílu. Zdvih a tlak přidržovače je zajištěn pomocí osmi kolíků umístěných ve spodní pracovní desce. Následně tažnice společně s přidržovačem sjede o daný zdvih do spodní polohy a tváří součást. Navržená tažidla pro první i druhý tah jsou zobrazena na obrázku 40 a podrobně jsou znázorněna v příložené technické dokumentaci. Při návrhu jednotlivých částí nástroje se vycházelo z hodnot získaných technologickými výpočty.

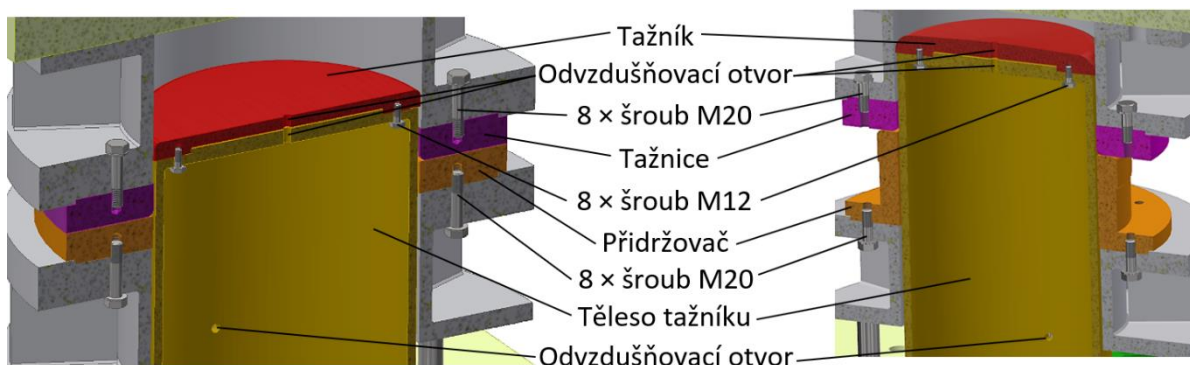


Obr. 40 Tažidlo pro první a druhý tah

Tažnice pro první i druhý tah je vyrobená z nástrojové oceli ČSN 19 436. Upnutá a středěná je osmi šrouby M20 v tělesu tažnice z konstrukční oceli ČSN 11 373, které je uchyceno v pohyblivé horní základové desce pomocí speciálních šroubů pro T-drážky. Při první operaci by otvor se závitem zasahoval do funkční plochy tažnice, proto musí být konstruován jako neprůchozí, viz obrázek 41.

Tažník je konstruován jako dělený a uchycený je osmi šrouby M12 ke svařovanému tělesu tažníku. Zvolený materiál tažníku je nástrojová ocel ČSN 19 436 a jeho funkční plochy musí být broušené a leštěné. Těleso tažníku z oceli ČSN 11 373 je svařované ze tří částí z důvodu úspory materiálu a hmotnosti. Ve spodní části se nachází prstenec sloužící pro upnutí pomocí upínek a v horní části je osazení sloužící ke středění tažníku. Uprostřed tělesa, ve stěnách i v samotném tažníku se nachází otvor průměru 15 mm, aby mohlo dojít ke snadnému vyjmutí výtažku a nedocházelo k podtlaku, viz obrázek 41.

Přidržovač pro první tažnou operaci je jednoduchého válcového tvaru v podstatě shodným s tvarem tažnice, avšak při druhé operaci má již tvar přizpůsobený výtažku po první tažné operaci, aby umožňoval jeho snadné založení. Oba tvary přidržovače jsou taktéž znázorněny na obrázku 41.



Obr. 41 Detail navržených tažidel

3.7 Simulace tažení

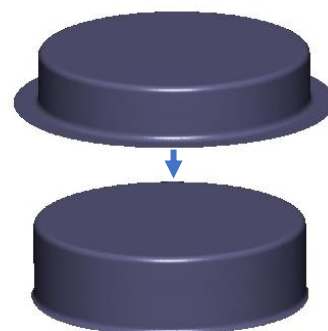
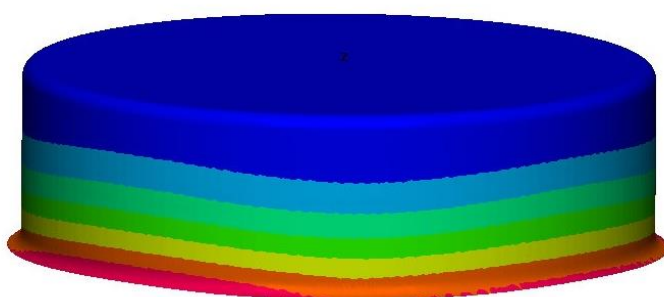
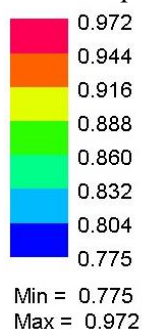
Zvolený způsob výroby a kontrola vyrobitelnosti daného dílce je ověřena pomocí numerické simulace. Využit byl program využívající metodu konečných prvků – PAM-STAMP. Nejdříve byl vymodelován zjednodušený model, který obsahoval geometrii výtažků a funkčních hran tažidla. V programu byl z databáze zvolen příslušný materiál a další parametry tažení.

Z prvotních výsledků simulace vyplynulo, že ačkoli je součást vyrobitelná, dochází k výraznému zvlnění, viz obrázek 42. Jelikož docházelo k nežádoucí deformaci až při druhé tažné operaci, bylo třeba u tohoto tahu upravit parametry tažení. Proto byl u druhého tahu navýšen tlak přidržovače na $p_p = 4$ MPa, což vedlo ke znatelné eliminaci zvlnění. Po úpravě je síla přidržovače dle (2.17):

$$F_{p2} = S_{p2} \cdot p_p = 28710,21 \cdot 4 = 114840,84 \text{ N}$$

Obrázek 43 zobrazuje změnu tloušťky stěny výtažku první operace. K nejvýraznějšímu napěchování materiálu dochází v oblasti příruby a k nejmenšímu naopak ve dně výtažku.

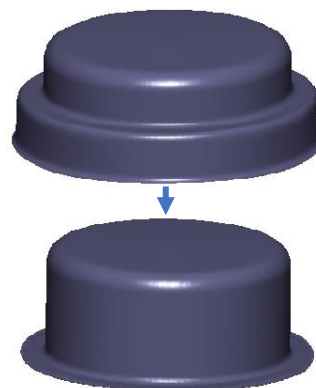
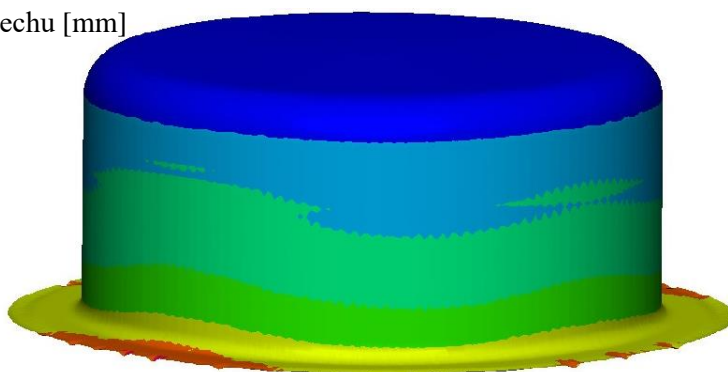
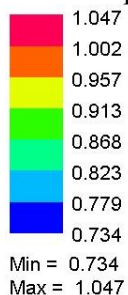
Tloušťka plechu [mm]



Obr. 43 Tloušťka plechu po první tažné operaci

Ztenčení výtažku druhé tažné operace je znázorněno na obrázku 44. Největší výsledná tloušťka plechu dosahuje maximální hodnoty 1,047 mm a nejmenší tloušťka 0,734 mm.

Tloušťka plechu [mm]



Obr. 44 Tloušťka plechu po tažné druhé operaci

Riziko vzniku trhlin bylo ověřeno pomocí limitního diagramu. Veškerá kritická přetvoření se nachází v bezpečné oblasti pod křivkami tvárnosti a nedojde v žádném místě k porušení materiálu. Diagramy mezní tvárnosti pro obě tažné operace se nachází v příloze 3.

Z výsledků simulace je patrné, že v oblasti příruby dochází k mírnému zvětšování tloušťky materiálu a existuje i riziko vzniku mírného zvlnění. Ve skutečnosti je však zcela zanedbatelné, jelikož se nachází v oblasti přídavku materiálu, která bude následně ostřížena z důvodu možného vzniku cípatosti.

4 ZÁVĚRY

Pro dřež rotačního symetrického tvaru s mírně zkoseným dnem a lemem po obvodu byla navrhována vhodná technologie výroby. Jeho tloušťka byla 0,8 mm, vnější průměr příruby 460 mm a vnitřní průměr 400 mm. Výška v nejhlubší části dřeze byla 187,7 mm. Obsahoval také dva otvory po bocích sloužící pro přepad vody a otvor s prolisem ve dně pro odtok. Polotovarem byl zvolen plech z korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 a výrobní série byla stanovena na 200 000 ks ročně.

Pro výrobu zadané součásti byly posuzovány různé metody plošného tváření, přičemž byla jako nejvhodnější varianta zvolena technologie konvenčního tažení. Podrobně rozebírána byla převážně problematika hlubokého tažení rotačních nádob bez ztenčení stěny.

V technologických a kontrolních výpočtech bylo zjištěno, že polotovar bude mít průměr 723 mm a bude vyřezáván pomocí laseru z tabule plechu o rozměrech $0,8 \times 1500 \times 3000$ mm z důvodu nejvyššího využití materiálu, a to 72,987 %. Samotný výtažek je možné zhotovit na dvě tažné operace a jednu lemovací operaci. Pro tažení součásti bude při prvním tahu potřeba celková tažná síla velikosti 951894,41 N a při druhém tahu 417019,68 N. Tyto faktory posloužily pro volbu hydraulického dvojčinného lisu Harsle Y27-200T se jmenovitou silou 2000 kN.

Pro zvolený stroj byly navrženy tažné nástroje pro první i druhou tažnou operaci. Tažidla se skládají z děleného tažníku, tažnice a přidržovače. Upnuté a středěné jsou ve svařovaných tělesech. Při návrhu nástroje se vycházelo z vypočtených hodnot a konstrukčního provedení pracovních desek zvoleného lisu.

Za účelem ověření vyrobitelnosti součásti daného tvaru byl zvolený způsob tažení podroben numerické simulaci v programu PAM-STAMP. Výsledkem bylo, že součást lze pomocí zvolené technologie vyrobit, avšak aby se zabránilo nežádoucímu zvlnění v oblasti příruby bylo nutné navýšit přidržovací sílu při druhé tažné operaci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [31]

1. VRÁNA, Jakub. *Voda a kanalizace v domě a v bytě: instalatérské práce*. Praha: Grada, 2005. Profi & hobby. ISBN 80-247-0800-0.
2. *Custom deep drawn parts* [online]. Sheboygan (Wisconsin): The Vollrath Company, 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://vollrathmanufacturing.com/OEM-Capabilities/Deep-Draw-Stamping-Annealing>
3. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
5. Deep Drawn Pressings. *Stroudmetal.co.uk* [online]. Brunel Way: Stroud Metal Company, c2020 [cit. 2021-4-14]. Dostupné z: <https://www.stroudmetal.co.uk/>
6. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
7. ČSN 41 7240. *Korozivzdorná austenitická ocel: 17 240 Cr-Ni*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1972. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
8. *Nerezový dřez: jak vybrat ten správný?* [online]. Brno: BYDLENÍ.CZ, 2015 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.bydleni.cz/clanek/Jak-vybirat-nerezovy-drez>
9. Technické informace: korozivzdorné oceli. *HEYMAN.cz* [online]. Brno: Heyman Manufacturing, c2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://www.heyman.cz/media/useruploads/files/cz/technische_angaben/korozivzdorne_oceli.pdf?f=1
10. Italinox: partner, který nerezaví. *Italinox.cz: Charakteristika materiálů* [online]. Praha: italinox, c2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.italinox.cz/>
11. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5.
12. Formning: processes. *Manufacturingguide* [online]. Kungsholmsgatan: Manufacturing Guide Sweden AB, c2020 [cit. 2021-4-14]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/>
13. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd.* Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
14. TOMANOVÁ, Blažena. *Metody tváření kovů a plastů: Cíl tváření: dát polotovaru požadovaný tvar a rozměry*. Docplayer.cz [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, c2021, 2016 [cit. 2021-4-14]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10033896-Tvareni-kovu-cil-tvareni-dat-polotovaru-pozadovany-tvar-a-rozmary.html>
15. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření: Tažení. Ksp.tul.cz: Technologie II* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, c2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
16. Malaysia Stainless Steel Stockist, Supplier & Processing Center: Coil, Sheet, Plate. Excelmetal [online]. Jln Seelong: EXCEL METAL INDUSTRIES SDN. BHD., c2021 [cit. 2021-4-14]. Dostupné z: http://www.excelmetal.com.my/images/mikas_stainless_steel_singapore.jpg
17. ŘIHÁČEK, Jan a Kamil PODANÝ. *Kapalina jako tvářecí médium. MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2019, 2019(1), 38-41. ISSN 1212-2572.

18. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
19. Proces overview deep drawing. *CSMFG* [online]. Shanghai City: CSMFG, c2021 [cit. 2021-4-14]. Dostupné z: <https://csmfg.com/steel.html>
20. TIŠNOVSKÝ, Miroslav. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-03-00221-4.
21. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. New York: Industrial Press, 2004, 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
22. TATÍČEK, František. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, 2011(11) [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni>
23. QIN, Yi, Wan-Nawang W.A. a Jie ZHAO. Forming of Micro-sheet Metal Components. *Micromanufacturing Engineering and Technology* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2015, 2015, s. 299-322 [cit. 2021-04-14]. ISBN 9780323311496. DOI: 10.1016/B978-0-323-31149-6.00013-X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780323311496/micromanufacturingengineering-and-technology>
24. ČSN 22 7301. *Tažení dutých válcových výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1960.
25. Tvářecí stroje. *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral Brno, c2000–2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/>
26. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: část tvářecí stroje. In: *Kombinované studium, III. roč* [online]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, odbor tváření, 2002, s. 1-122 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizení_novotny.pdf
27. A Thorough Comparison of 3 Ways to Apply Lubricant When Stamping: Technical Column. *Lumina* [online]. Honkomagome: FUSO SEIKI CO., c2021 [cit. 2021-4-14]. Dostupné z: <https://www.fusoseiki.co.jp/en/column/solutions/172.html>
28. Velkoobchod s hutním materiálem. *FERONA a.s* [online]. Praha: graphic house, 2017 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.ferona.cz/>
29. Nesting center. *Nestingcenter.com* [online]. Pruszcz Gdański: Starsoft, 2017 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://nestingcenter.com/>
30. Hydraulické lisы Harsle. *Harsle* [online]. Nanjing: Harsle Machine Tool Co., 2019 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: cs.harsle.com/Y27-200T-čtyři-sloupce-hlubokotažný-hydraulický-lis%2C-výrobce-hydraulických-lisů-id3293283.html
31. *Citace PRO* [online]. 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažná práce	[J]
A ₀	výška tabule plechu	[mm]
A ₅	tažnost	[MPa]
A _i	tažná práce pro danou operaci	[J]
B ₀	šířka tabule plechu	[mm]
C	koeficient vyjadřující vliv součinitele tažení	[-]
C _A	součinitel tažné práce	[-]
D	největší průměr dílce	[mm]
d	vnitřní průměr výtažku	[mm]
D ₀	průměr přístřihu	[mm]
d ₁	průměr výtažku při prvním tahu	[mm]
d ₂	průměr výtažku při druhém tahu	[mm]
d ₃	průměr výtažku při třetím tahu	[mm]
d _{k1}	velký průměr kuželové plochy	[mm]
d _{k2}	malý průměr kuželové plochy	[mm]
d _n	vnitřní průměr výtažku pro n-tou tažnou operaci	[mm]
d _{n-1}	vnitřní průměr výtažku pro předchozí tažnou operaci	[mm]
D _p	průměr příruby	[mm]
d _{Si}	průměr příslušného tvaru součásti	[mm]
E	modul pružnosti	[GPa]
F _C	celková síla potřebná pro tažení	[N]
F _{krit}	kritická síla	[N]
F _{kriti}	kritická síla pro jednotlivé tahy	[N]
F _p	síla přidržovače	[N]
F _{pi}	síla přidržovače pro danou operaci	[N]
f _{Si}	délka zkosení příslušného tvaru součásti	[mm]
F _t	výsledná tažná síla	[N]
F _{ti}	výsledná tažná síla dané operace	[N]
F _{tn}	tažná síla určená dle normy ČSN	[N]
F _{tui}	tažná síla příslušné operace určená dle normy ČSN	[N]
H	výška zadaného dílce	[mm]
h	výška výtažku	[mm]
h ₁	výška výtažku při prvním tahu	[mm]
h ₂	výška výtažku při druhém tahu	[mm]
h ₃	výška výtažku při třetím tahu	[mm]
h _{Si}	výška příslušného tvaru součásti	[mm]
k	součinitel zohledňující vliv materiálu	[-]
k _p	materiálová konstanta	[-]
m'	střední součinitel tažení	[-]
m ₁	součinitel tažení pro první tažnou operaci	[-]
m ₂	součinitel tažení pro druhou tažnou operaci	[-]
m ₃	součinitel tažení pro třetí tažnou operaci	[-]
m _c	celkový součinitel tažení	[-]
m _n	součinitel tažení pro n-tou tažnou operaci	[-]
N _C	celkový počet tabulí plechu	[ks]
N _s	vyráběný počet kusů	[ks]
N _t	počet výstřižků na tabuli plechu	[ks]
p _p	tlak přidržovače	[MPa]
r	poloměr zaoblení přechodu stěny do příruby a dna výtažku	[mm]
R ₁	poloměr zaoblení přechodu příruby do válcové části	[mm]
R _m	mez pevnosti	[MPa]

Označení	Legenda	Jednotka
$R_{p0,2}$	mez kluzu	[MPa]
R_{Si}	poloměr zaoblení příslušného tvaru součásti	[mm]
R_{te}	poloměr zaoblení tažnice	[mm]
R_{tu}	poloměr zaoblení tažníku	[mm]
S_c	celkový obsah plochy výtažku	[mm ²]
S_i	velikost jednotlivých ploch	[mm ²]
S_p	účinná plocha přidržovače	[mm ²]
S_{pi}	účinná plocha přidržovače dané operace	[mm ²]
S_t	plocha tabule plechu	[mm ²]
S_v	plocha přístřihu	[mm ²]
t	výchozí tloušťka plechu	[mm]
t_{max}	maximální tloušťka plechu dle tolerance	[mm]
t_r	relativní tloušťka materiálu	[%]
v	tažná vůle	[mm]
z	tažná mezera	[mm]
z_i	tažná mezera příslušné tažné operace	[mm]
α	koeficient způsobu tažení	[-]
η	využití materiálu plechu	[%]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výtažků různých tvarů [2], [5]	9
Obr. 2 Vyráběný kuchyňský dřez s detailem držáku	10
Obr. 3 Způsob upevnění dřezu	10
Obr. 4 Polotovár ve formě svitků a plechů [16]	11
Obr. 5 Kovotlačení [12]	12
Obr. 6 Hydromechanické tažení [14]	12
Obr. 7 Tažení metodou Hydroform [15]	13
Obr. 8 Tažení metodou Marform [15]	13
Obr. 9 Způsob tažení [12]	14
Obr. 10 Proces tažení [19]	15
Obr. 11 Příklad rozdělení výtažku na základní prvky [20]	16
Obr. 12 Víceoperační tažení [4]	17
Obr. 13 Graf mezních hodnot součinitele tažení [6]	17
Obr. 14 Vady výtažků [23]	18
Obr. 15 Tažná mezera [24]	19
Obr. 16 Průběh tažné síly [4]	20
Obr. 17 Konstrukce tažidel s přidržovačem [6]	21
Obr. 18 Příklady úprav funkčních ploch tažnic [4]	22
Obr. 19 Příklady konstrukce tažnic [24]	23
Obr. 20 Graf ke stanovení poloměru tažné hrany tažnice [6]	23
Obr. 21 Příklady konstrukce tažníků pro různé velikosti výtažků [6]	24
Obr. 22 Tvary tažníku a přidržovače při víceoperačním tažení [6]	24
Obr. 23 Přidržovač s dorazovým šroubem [20]	25
Obr. 24 Konstrukce brzdných žeber [21]	25
Obr. 25 Klikový tažný lis [25]	26
Obr. 26 Pracovní cyklus klikového lisu [26]	26
Obr. 27 Způsoby nanášení maziva na plechy [27]	27
Obr. 28 Tažení součástí s širokou přírubou [4]	28
Obr. 29 Tažení kuželových výtažků [4]	28
Obr. 30 Způsoby tažení sférických výtažků [4]	29
Obr. 31 Vzhled součásti v průběhu výroby	30
Obr. 32 Jednotlivé plochy výtažku	31
Obr. 33 Proces tažení zadaného dřezu	33
Obr. 34 Tváření lemu dřezu	33
Obr. 35 Rozmístění výstřižků (varianta A) [29]	34
Obr. 36 Rozmístění výstřižků (varianta B) [29]	35
Obr. 37 Rozmístění výstřižků (varianta C) [29]	35
Obr. 38 Zkoumané vlastnosti tažidla	36
Obr. 39 Zvolený lis Y27-200T [30]	39
Obr. 40 Tažidlo pro první a druhý tah	40
Obr. 41 Detail navržených tažidel	40
Obr. 42 První verze simulace	41
Obr. 43 Tloušťka plechu po první tažné operaci	41
Obr. 44 Tloušťka plechu po tažné druhé operaci	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli X5CrNi18-10 [7].....	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli X5CrNi18-10 [7], [9].....	11
Tab. 3 Hodnoty součinitele tažení pro válcovité součásti [21]	17
Tab. 4 Materiálová konstanta k_p [6]	19
Tab. 5 Velikosti tažné mezery [20]	20
Tab. 6 Vybrané hodnoty součinitele C [24]	21
Tab. 7 Materiály vhodné pro součásti tažidel [6]	22
Tab. 8 Minimální poloměry zaoblení tažníku [4].....	24
Tab. 9 Obsahy jednotlivých ploch získané pomocí počítačového softwaru.....	32
Tab. 10 Součinitelé tažení pro zadaný dílec [21]	32
Tab. 11 Dostupné rozměry polotovaru [28]	34

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tvar dřezu včetně rozměrů potřebných pro výpočet přístřihu
Příloha 2	Parametry hydraulického lisu Y27-200T [30]
Příloha 3	Diagramy mezní tvářítnosti

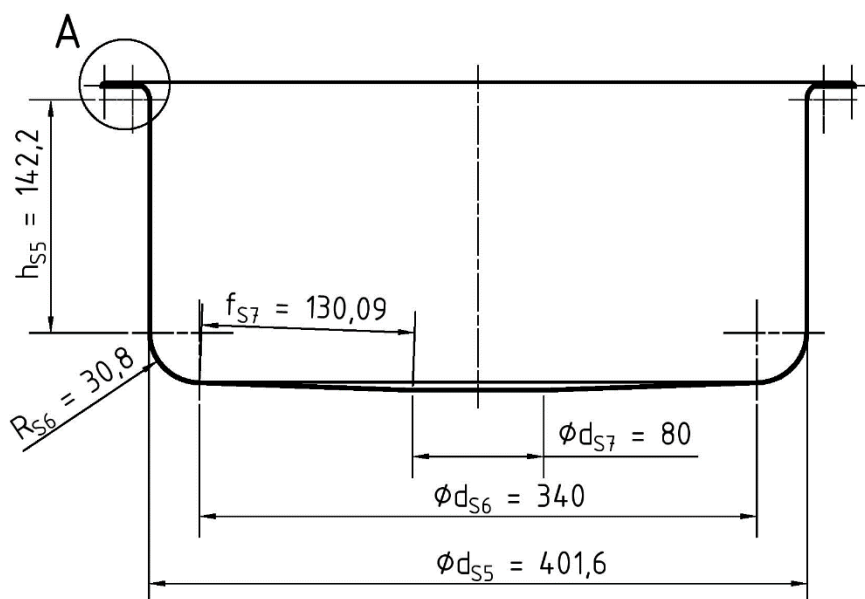
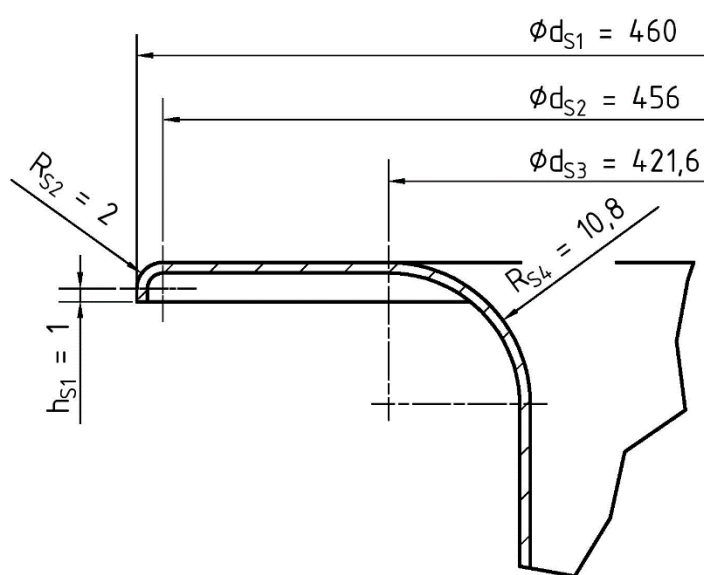
SEZNAM VÝKRESŮ

Kuchyňský dřez	2021-BP-208527-D
Tažidlo pro 1. operaci	2021-BP-208527-S1
Tažidlo pro 2. operaci	2021-BP-208527-S2
Tažnice pro 1. operaci	2021-BP-208527-S1-1
Tažník pro 1. operaci	2021-BP-208527-S1-2

**PŘÍLOHA 1: TVAR DŘEZU VČETNĚ ROZMĚRŮ POTŘEBNÝCH PRO VÝPOČET
PŘÍSTŘIHU**

List 1/1

A (2 : 1)



PŘÍLOHA 2: Parametry hydraulického lisu Y27-200T [30]

List 1/1

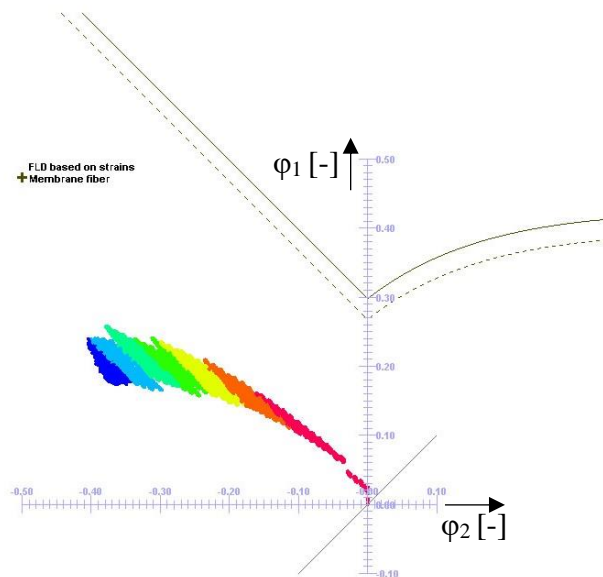
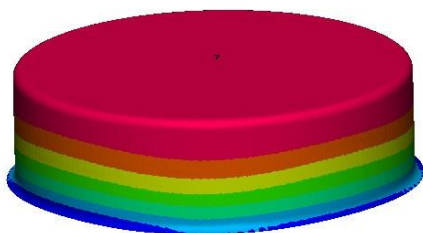
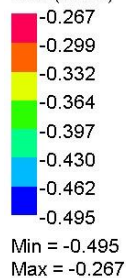


Vlastnosti		Hodnoty	Jednotky
Jmenovitá tažná síla		2000	kN
Vyhazovací síla		240	kN
Pracovní tlak		25	MPa
Síla přidržovače		400	kN
Světlá výška pracovních desek		1120	mm
Zdvih lisu		710	mm
Zdvih přidržovače		250	mm
Rozměry pracovní desky		1000 × 940	mm
Rozteč kolíků vyhazovače		120	mm
Rychlost	Klesání	150	mm/s
	Tažení	5-12	mm/s
	Návrat	95	mm/s
Výška pracovní desky nad zemí		700	mm
Rozměry stroje		3100 × 1350	mm
Výkon motoru		15	kW

PŘÍLOHA 3: DIAGRAMY MEZNÍ TVÁŘITELNOSTI

První tažná operace

FLD (strain) - Rupture risk - Membrane - FLC Blank (absolute)



Druhá tažná operace

FLD (strain) - Rupture risk - Membrane - FLC Blank (absolute)

